

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LA ESTACIÓN
ACUÍCOLA DEL MUNICIPIO DE REPELÓN**

BRENDA ESTEPHANIE CACERES ACOSTA

ANDREA PAOLA VERGARA SOLIS

UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Barranquilla

2018

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LA ESTACIÓN
ACUÍCOLA DEL MUNICIPIO DE REPELÓN.**

BRENDA ESTEPHANIE CACERES ACOSTA

ANDREA PAOLA VERGARA SOLIS

**Trabajo de Grado presentado para optar el título de
Ingeniero Ambiental**

Directores

Mg. CLAUDIA HERRERA HERRERA
Ingeniera Química

Mg. FAISAL BERNAL HIGUITA
Ingeniero Químico

UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
BARRANQUILLA

2018

Nota de aceptación:

Firma de jurado

Firma de jurado

Barranquilla, Abril del 2018

Dedicatoria

La concepción de este proyecto está dedicada a todas aquellas personas que me han apoyado en el transcurso de mi carrera profesional, pilares fundamentales en mi vida, mi familia. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, también dedico este proyecto a mis directores de tesis; la Ingeniera Claudia Herrera y el Ing. Faisal Bernal por guiarme no solo en este proyecto de grado, sino también en el trayecto de mi carrera profesional. Esta dedicatoria va también para todos mis compañeros, ya que cada aporte que dieron fuera malo o bueno ayudaron a formarme, en especial a mi compañera de tesis ya que represento gran esfuerzo y tesón en momentos de decline y cansancio.

Andrea Vergara Solís.

Dedicatoria

Quiero dedicar con mucho cariño mi trabajo de grado a mi familia, sin su apoyo y la bondad de Dios no hubiese sido posible llevar a cabo mi formación profesional. Ellos han asumido un papel fundamental en mi crecimiento personal a través de estos años y representan un gran apoyo para mí.

Brenda Cáceres Acosta.

Agradecimientos

Le doy gracias a Dios porque por Él, estoy donde estoy, él me ha guiado no solo en mi carrera sino también en mi vida llenándola de Bendiciones. A mi madre, mis hermanos, mis abuelos y a toda mi familia que siempre está ahí apoyándome y guiándome, y gracias a ello he crecido en mi vida profesional y en mi vida personal.

A la señora María del Pilar Dorado y al señor Edgardo Ortega por siempre recibarnos y brindarnos apoyo en información sobre nuestro trabajo de tesis

Un agradecimiento también para mi compañera de tesis por estar ahí apoyándome y motivándome y sin dejar atrás a mis directores de tesis que representaron paciencia, conocimiento y amor.

Andrea Vergara Solís.

Agradecimientos

Primeramente, gracias a Dios porque es lo más importante en mi vida, me demuestra su infinito amor y misericordia con tantas bendiciones. A Pilar, mis padres, mis hermanas y cada una de las personas de mi familia que de una u otra forma han hecho parte de mi formación académica y personal, ya sea con su apoyo económico y/o emocional.

Gracias a mi compañera de tesis por confiar en mí, por su disposición para trabajar en conjunto, por hacer tan ameno el trabajo, su constante apoyo y amistad en estos años. De igual forma, infinitas gracias a mis directores de tesis por compartir sus conocimientos, por ser un gran apoyo durante la realización de este proyecto y su constante motivación.

Brenda Cáceres Acosta.

Contenido

Lista de tablas y figuras.....	11
1. Introducción.....	14
2. Objetivos.....	15
2.1 Objetivo general	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3. Justificación	16
4. Marco teórico y estado del arte.....	17
4.1 La acuicultura.....	17
4.1.1 Definición y clasificación de la acuicultura.	18
4.1.2 La acuicultura en Colombia.....	20
4.1.3 Estación acuícola del bajo Magdalena.....	21
4.1.4 Actividades de la estación acuícola.	23
4.2 Sistema de potabilización de agua de la estación acuícola de Repelón	26
4.3 Descripción del sistema de potabilización de agua de la estación acuícola.....	26
4.3.1 Fuente de abastecimiento y captación.....	27
4.3.2 Sistema de tratamiento de potabilización del agua.	28
4.3.3 Filtración.....	29
4.3.4 Operación de los filtros.....	34
4.3.5 Filtro de tela.....	36
4.3.6 Desinfección.	37
4.3.7 Tanques de almacenamiento.....	38
4.4 Marco legal.....	40
4. Diseño metodológico	43
5.1 Procedimiento del análisis físico-químico del agua.....	44
5.2 Procedimiento de prueba de jarra.....	44
5.2.1 Preparación dosis coagulante.....	45
5.2.2 Aplicación de coagulante.....	46
5.3 Procedimiento para análisis microbiológico	46
5.4 Área de estudio.....	46
5. Funcionamiento del sistema de agua potable de la estación acuícola	50

6.1	Filtro de tasa de la estación acuícola.....	50
6.2	Especificaciones técnicas del filtro de la estación acuícola:	51
6.2.1	Características del medio filtrante:	51
6.2.2	Cálculo de velocidad ascensional de lavado del filtro.....	53
6.3	Filtro de tela de la estación acuícola.	66
6.4	Tanque subterráneo de la estación acuícola	67
6.5	Tanque elevado de la estación acuícola	68
6.	Análisis	70
7.1	Análisis físico-químico del agua	70
7.2	Pruebas de jarra	73
7.3	Análisis microbiológico	76
7.3.1	Prueba microbiológica.....	76
8.	Análisis y discusión	78
9.	Conclusiones.....	79
10.	Recomendaciones	80
11.	Referencias.....	82

Lista de tablas y figuras**Tablas**

Tabla 1 Tipos de filtros	29
Tabla 2 Características físicas del agua según la Resolución 2115 de 2007	42
Tabla 3 Dosis del coagulante	45
Tabla 4 Especificaciones técnicas del filtro de la estación acuícola.....	51
Tabla 5 Material filtrante para el filtro de tasa declinante continuo de la estación acuícola de Repelon	51
Tabla 6 Material filtrante para el caso de filtro de tasa declinante continuo con lecho mixto. ..	52
Tabla 7 Comparación de material filtrante	53
Tabla 8 Variable y valores de la expansión de la antracita.....	54
Tabla 9 Valores y variables de la velocidad ascensorial a partir de los datos de la antracita.....	55
Tabla 10 Valores y variables de la velocidad ascensorial a partir de los datos de la arena.....	56
Tabla 11 Lecho del soporte del medio filtrante	58
Tabla 12 Valores y variables del lecho filtrante a partir de los datos de la antracita.....	59
Tabla 13 Valores y variables del lecho filtrante a partir de los datos de la arena.....	59
Tabla 14 Datos de los orificios	63
Tabla 15 Análisis físico-químico del agua entrante.....	71
Tabla 16 Análisis físico – químico del agua de salida.....	72
Tabla 17 Análisis físico-químico del tanque de almacenamiento	73
Tabla 18 Resultado de prueba de jarra 1er muestreo	74

Tabla 19 Resultado de prueba de jarra 2do muestreo	75
Tabla 20 Resultado de prueba microbiologica del indice MPN y limites de confianza del ambalse el guajaro.....	77

Figuras

Figura 1. Estación acuícola de Repelón – Atlántico	23
Figura 2. Estación acuícola vista panorámica.....	26
Figura 3. Secuencia del sistema de agua potable de la Estación acuícola de Repelón.	26
Figura 4. Punto de captación.....	28
Figura 5. Sistema de control de los filtros	31
Figura 6. Filtro de tasa declinante continuo.....	32
Figura 7. Filtro de rata declinante de Barranquilla (Colombia).....	33
Figura 8. Filtro de tasa declinante de Repelón -Atlántico	34
Figura 9. Filtro de tela estándar.	37
Figura 10. Etapas en las que se desarrolló el proceso.....	44
Figura 11. Vista aérea de la estación acuícola del municipio de Repelón.	47
Figura 12. Localización del departamento del Atlántico.	48
Figura 13. Localización del municipio de Repelón.	49
Figura 14. Filtro de tasa de la estación acuícola de Repelón.	50
Figura 15. Vista superior del filtro de tasa de la estación acuícola de Repelón	50
Figura 16. Filtro de tela de la Estación acuícola.....	67
Figura 17. Tanque subterráneo de la Estación Acuícola.....	68
Figura 18. Tanque elevado de la Estación.	69

Resumen

El presente documento contiene la información de la evaluación de una planta de agua potable en la estación acuícola del municipio de Repelón-Atlántico. Primeramente, se llevó a cabo la recopilación de toda la información preliminar pertinente y de las actividades por las cuales el agua necesita un tratamiento. Se hicieron visitas a las instalaciones para observar el funcionamiento de la planta potabilizadora de agua y entrevistando al personal que allí reside y los encargados. Se analizaron cada una de las estaciones del proceso para llevar a cabo una evaluación mediante la caracterización del agua con análisis físico-químico y microbiológico. Se hizo análisis físico-químico del agua de entrada, la del tanque de almacenamiento y el agua de salida, luego se comparó con la resolución 2115 de 2007. Se evidenció que el cambio en los resultados de los parámetros evaluados es muy mínimo, es decir, el agua está saliendo casi con las mismas características con las que entra. Las variables en las que se evidenció mayor cambio fueron color y turbiedad, lo cual hace asumir que el filtro está actuando más bien como un sedimentador. Se llevaron a cabo pruebas de jarras con sulfato de aluminio tipo B al 1% como coagulante y se logró concluir que la dosis óptima es la de 30mg/L, ya que en la caracterización posterior todos los valores arrojados para cada parámetro se ajustan a los permisibles por la normativa vigente. También se llevó a cabo una prueba microbiológica en la que se encontró más de 4000 coliformes totales. Luego de todo un análisis, se hicieron una serie de recomendaciones para mejorar, hacer eficiente y eficaz el proceso de potabilización de agua. Estas recomendaciones fueron compartidas con el personal encargado.

Palabras clave: planta de agua potable, físico-químico, microbiológico.

Abstracts

The present document contains the information about the evaluation of a drinking water plant on water bearing zones located at Repelón, Atlántico. Firstly, preliminary and relevant information gathering was carried out besides the activities why water needs a treatment. Monitoring visits were undertaken at installations to observe the functioning of the water treatment plant and to conduct interviews to people who live there and the managers. Every stage of the process was analyzed to accomplish an assessment through water characterization with physical and chemical analysis and microbiological. A physical chemical analysis of entering water was made, the storage tank and outgoing water, then it was compared with the resolution 2115 of 2007. It appeared that the change on the results of parameters evaluated is very minimum, in other words, the water is flowing almost with the same features with which it comes. The variables which evidenced major change were color and turbidity, which makes assume the filter is acting as sedimentation. Tests of jars with aluminum sulfate type B by 1% took place as coagulant and it also achieved to conclude that the optimal dose is 30mg/L, otherwise the further characterization all the values returned by each parameter are adjusted to the permissible by the current regulation. Furthermore, a microbiological test was carried out in which more than 4000 total coliforms were found. After an analysis, general recommendations were made to improve, made an efficient and effective water purification process. Those recommendations were shared with the staff involved

Keywords: *plant on wáter, chemical analysis, microbiological.*

1. Introducción

Las enfermedades relacionadas con la contaminación del agua de consumo tienen una gran repercusión en la salud de las personas. Las medidas destinadas a mejorar la calidad del agua de consumo proporcionan beneficios significativos para la salud (OMS, 2006).

Los sistemas de agua potable son construcciones conformadas por unidades en las que se transforma el agua en su estado natural, se localizan entre el punto de captación del agua cruda y los tanques de almacenamiento. Su principal objetivo es remover las sustancias que alteran la calidad del agua y para así poder emplearla para consumo humano. Dentro de las sustancias que alteran la calidad del agua se encuentran: materiales orgánicos, contaminantes biológicos y material mineral (Angarita, 2013).

La siguiente investigación permite establecer si el sistema de abastecimiento de agua potable de la estación acuícola del municipio de Repelón, consigue proveer agua de calidad que cumpla con los objetivos en salud de acuerdo a las normas establecidas y de las medidas de control que se emplean para los sistemas de distribución de agua para el consumo humano, teniendo en cuenta que el sistema de abastecimiento de agua se encuentre en buenas condiciones y sus elementos estén garantizando la efectividad del funcionamiento.

Esta investigación comprende una breve descripción de la normativa aplicable a la vigilancia y control de la calidad del agua para el consumo humano y la descripción estructural del sistema de agua potable de la estación acuícola del municipio de Repelón. Los resultados del análisis de las muestras establecerán la calidad del agua en relación al cumplimiento de la normativa, detallando los parámetros que con mayor frecuencia se incumplen y así generar las recomendaciones adecuadas para que de ser necesario se adopten medidas de fortalecimiento y encaminadas al cumplimiento de la normativa.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar el funcionamiento del sistema de potabilización de agua de la estación acuícola del municipio de Repelón para mejorar las condiciones sanitarias de los empleados y la calidad de los procesos de cultivos allí realizados.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el agua de entrada y de salida del sistema de potabilización.
- Evaluar los procesos unitarios del sistema de potabilización de agua de la estación acuícola mediante análisis físico-químicos y microbiológicos que permitan determinar los parámetros óptimos de operación de cada una de las etapas.
- Realizar el diagnóstico de la planta de tratamiento y sus respectivas recomendaciones de operación.

3. Justificación

La evaluación del sistema de potabilización de agua de la estación acuícola del municipio de Repelón se llevó a cabo con el fin de mejorar y lograr hacer eficiente y eficaz el funcionamiento del sistema de agua potable y así elevar la calidad de vida de los residentes de la estación. Se busca que con un diagnóstico de las fallas y fortalezas se pueda contribuir, con una serie de recomendaciones y posibles soluciones, al mejoramiento para el buen funcionamiento de la planta de potabilización de agua y así, sea apta para el consumo humano y que la comunidad se beneficie de la misma.

Se pretende promover la importancia de la aplicación de sistemas de excelente calidad que cumplan con los estándares propuestos por la normativa y compromisos sociales, y que como resultado se eviten problemas de salud pública y se beneficie a la sociedad. Desde un enfoque social, el desarrollo de estos procesos académicos forja tanto la vida profesional como el desarrollo de problemáticas reales aportando ideas y alternativas para la solución de las mismas en pro de la calidad de vida y la salud de las personas.

A su vez, esta investigación, además de ser un aporte que se puede replicar en las estaciones acuícolas a nivel nacional, en el campo profesional también se convierte en motivación y guía para el desarrollo de nuevos proyectos que busquen contribuir con el desarrollo humano y social de las comunidades a pequeña y gran escala.

4. Marco teórico y estado del arte

A continuación, se caracteriza marco teórico y estado del arte en cual se habla del tema escogido, y para ello se profundiza en dos aspectos claves.

En primero, centrado en las referencias y conceptos importantes de la acuicultura y en segundo lugar, sobre el sistema de agua potable de la estación acuícola. Es importante resaltar que la calidad de agua potable de esta estación es importante para las personas que laboran en esta y para las actividades dentro de esta estación, por tal motivo, en el presente documento se encuentra información de la acuicultura ya que es la actividad base de la estación, sin embargo, es el sistema de potabilización de agua a lo que va dirigir esta evaluación, por eso la importancia de conocer el funcionamiento tanto teórico como actual de la misma.

4.1 La acuicultura

La pesca y la acuicultura son una fuente no solo de salud, sino también de riqueza. El empleo en el sector ha crecido más rápido que la población mundial. El sector da empleo a decenas de millones de personas y es la base de los medios de vida de cientos de millones más. El pescado sigue siendo uno de los productos más comercializados en todo el mundo. Es especialmente importante para los países en desarrollo, pues en ocasiones tiene un valor que asciende a la mitad del total de los productos que dichos países comercializan (FAO, 2014).

La producción pesquera mundial ha aumentado de forma constante en las últimas cinco décadas y el suministro de peces comestibles se ha incrementado a una tasa media anual del 3,2 %, superando así la tasa de crecimiento de la población mundial del 1,6 %. El consumo aparente mundial de pescado *per cápita* aumentó de un promedio de 9,9 kg en el decenio de 1960 a 19,2 kg en 2012, según las estimaciones preliminares. Este incremento notable se ha debido a una

combinación de crecimiento demográfico, aumento de los ingresos y urbanización, y se ha visto propiciado por la fuerte expansión de la producción pesquera y la mayor eficacia de los canales de distribución (FAO, 2014).

China ha sido responsable de la mayor parte del aumento de la disponibilidad de pescado, como consecuencia de la expansión espectacular de su producción pesquera, especialmente de la acuicultura. Su consumo aparente de pescado *per cápita* aumentó asimismo a una tasa media anual del 6,0 % en el periodo 1990-2010 hasta unos 35,1 kg en 2010. En el resto del mundo, el suministro anual de pescado *per cápita* correspondió a unos 15,4 kg en 2010 (11,4 kg en el decenio de 1960 y 13,5 kg en el decenio de 1990) (FAO, 2014).

Pese al aumento del consumo aparente anual de pescado *per cápita* en las regiones en desarrollo (de 5,2 kg en 1961 a 17,8 kg en 2010) y en los países de bajos ingresos y con déficit de alimentos (PBIDA) (de 4,9 kg a 10,9 kg), las regiones desarrolladas siguen registrando niveles más altos de consumo, aunque la diferencia se está reduciendo. Una parte considerable y cada vez mayor del pescado que se consume en los países desarrollados se abastece de las importaciones, debido a la firme demanda y la disminución de la producción pesquera nacional. En los países en desarrollo, el consumo de pescado suele basarse en los productos locales y de temporada disponibles, y la cadena pesquera está impulsada por la oferta. Sin embargo, a causa del aumento de los ingresos y la riqueza nacionales, los consumidores de las economías emergentes están experimentando una diversificación de los tipos de pescado disponibles debido a un incremento de las importaciones pesqueras (FAO, 2014).

4.1.1 Definición y clasificación de la acuicultura.

El artículo 286 del Decreto 2811 de 1974 por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, define la acuicultura como

el cultivo de organismos hidrobiológicos con técnicas apropiadas, en ambientes naturales o artificiales, y generalmente bajo control (UNAP, 2014).

La FAO, 2004, define la acuicultura como “El cultivo de organismos acuáticos, incluyendo peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas, que implica la intervención del hombre en el proceso de cría para aumentar la producción, en operaciones como la siembra, la alimentación, la protección de los depredadores, etc. La actividad de cultivo también presupone que los individuos o asociaciones que la ejercen son propietarios de la población bajo cultivo” (UNAP, 2014).

La acuicultura debe enmarcarse en criterios de desarrollo sostenible, definido por la FAO como "El manejo y la conservación de la base de recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional, de tal manera que se asegure la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras". Este desarrollo sostenible (en los sectores agrícola, 9 Plan Nacional para el Desarrollo Sostenible de la Acuicultura en Colombia AUNAP - FAO forestal y pesquero) conserva la tierra, el agua y los recursos genéticos vegetales y animales, no degrada el medio ambiente y es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable” (UNAP, 2014).

La Ley 13 de 1990 o Estatuto General de Pesca clasifica a la Acuicultura de la siguiente manera:

1. Según el medio, en:

- Acuicultura continental: la que se realiza en los ríos, lagos, lagunas, pozos artificiales y otras masas de agua no marinas.
- Acuicultura marina o maricultura: la que se realiza en ambientes marinos (UNAP, 2014).

2. Según su manejo y cuidado, en:

- Repoblación: la siembra de especies hidrobiológicas en ambientes acuáticos naturales o artificiales sin ningún manejo posterior.
- Acuicultura extensiva: la siembra de especies hidrobiológicas en ambientes acuáticos naturales o artificiales con algún tipo de acondicionamiento para su mantenimiento.
- Acuicultura semi-intensiva: la siembra en la que se proporciona alimentación suplementaria, además del alimento natural, con mayor nivel de manejo y acondicionamiento del medio ambiente.
- Acuicultura intensiva: la siembra en la que se proporciona alimentación suplementaria y se utiliza tecnología avanzada que permite altas densidades de las especies en cultivo.

3. Según las fases del ciclo de vida de las especies:

- De ciclo completo o cultivo integral: el que abarca el desarrollo de todas las fases del ciclo de vida de las especies en cultivo (UNAP, 2014).
- De ciclo incompleto o cultivo parcial: el que comprende solamente parte del ciclo de vida de la especie en cultivo (UNAP, 2014)

4.1.2 La acuicultura en Colombia.

Todos los informes de la organización de las naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO, 2014) coinciden que la acuicultura es el sector de la producción de alimentos en crecimiento, tema importante dados los problemas en seguridad alimentaria que el mundo atraviesa. La mayor parte de la producción acuícola mundial esta basa en la explotación de estanques de agua dulce que mantienen e intercambian el agua, estos reciben fertilizantes o productos que pueden servir de alimento a los peces y hacen posible la retención, cría y

explotación de especies ícticas. La preparación y construcción adecuada de esos estanques y las estructuras correspondientes son parte esencial de una piscicultura provechosa. Un buen estanque debe ser de construcción poco costosa y fácil mantenimiento y permitir un aprovechamiento satisfactorio del agua y de los peces (FAO, 2014).

La acuicultura ha sido definida por el Gobierno Colombiano como una actividad de alta prioridad, razón por la cual se creó la Autoridad Nacional de Acuicultura y pesca- UNAP, en conjunto con la Dirección de Cadenas Pecuarias, Pesquera y Acuícola del ministerio de Agricultura y Desarrollo rural-MADR, promueve el desarrollo sostenible de la actividad. Estas instituciones solicitaron la asistencia de la FAO para la formulación del plan Nacional de Desarrollo de la acuicultura sostenible (UNAP, 2014).

En respuesta la FAO, en conjunto de otras instituciones, estas realizaron un diagnóstico del sector acuícola Nacional más participativo y esto sirvió para el proceso de la formulación del plan, el cual es el resultado de una amplia consulta a los diversos actores sectoriales en todas las regiones geográficas del país (UNAP, 2014).

4.1.3 Estación acuícola del bajo Magdalena.

Esta estación de acuicultura se encuentra ubicada en el municipio de Repelón, departamento del Atlántico. Geográficamente se localiza a los 10° 29' 46" de latitud Norte y 75° 07' 52" de longitud Este y está a una altura de 10 m.s.n.m. La temperatura promedio es de 32°C y la pluviosidad de 871 mm al año. La Estación posee una extensión de 16 ha, de las cuales 9.2 ha son en espejo de agua en estanques que varían desde 18 m² hasta 5000 m² (ICA, 2008).

Cuenta con 101 estanques en total, con las siguientes áreas: 9 de 18 m², 26 de 200 m², 10 de 780 m², 5 de 800 m², 26 de 1000 m², 18 de 1200 m², 3 de 3000 m², 2 de 5000 m² y dos

reservorios con un área aproximada de 0.8 ha en total. Además, con un área administrativa y locativa compuesta por: una oficina coordinación, Secretaria, Sala de computación, siete (7) oficinas, Biblioteca, Sala de conferencias, Laboratorios de calidad de agua, bromatología, Bioensayos, nutrición, incubación, dos (2) Caseta planta de tratamiento de agua potable, Caseta planta auxiliar eléctrica Diésel, caseta auxiliar de bombeo de emergencia, Bodega de alimentos y tres (3) bodegas de almacenamiento, en la figura 1 se aprecia la entrada de la estación (ICA, 2008).

El área operativa está compuesta por: casa de manejo, casa para tilapia roja, sala de reproducción inducida, casa de reversión de sexos, tanque de almacenamiento de agua semitratada, tanque elevado para agua semitratada, filtro de agua de tasa declínate y un área para el mejoramiento genético de la tilapia, compuesta por 100 tanques circulares en fibra de vidrio de 1200 litros cada uno, con un área total de 800 m² (ICA, 2008).

Durante el 2007 se presentó a la Convocatoria Nacional I+D del Sector Agropecuario, siendo aprobado, el proyecto titulado: “Programa para el mejoramiento genético de la tilapia en Colombia”, el cual desarrolla el ICA con la cooperación de la Asociación Nacional de Acuicultores de Colombia – Acuanal -, Proexport y la Cooperación Centro de Investigaciones de la acuicultura de Colombia - CENIACUA. El ICA avaló una contrapartida de \$1.003.087,249, representados en personal, equipos y adecuación de infraestructura. Con esta investigación se estableció un programa de mejoramiento genético de la tilapia nilótica por medio de la metodología de selección combinada (familiar e intra familiar) con el fin de abastecer al sector productivo con una semilla de alta calidad y alto rendimiento (ICA, 2008).



Figura 1. Estación acuícola de Repelón – Atlántico. Se puede apreciar la entrada de la estación acuícola del municipio de repelón- atlántico. La cual es la AUNAP (Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca)

Fuentes: (MINAGRICULTURA,AUNAP, 2015)

Es importante resaltar que el agua destinada para la reproducción de peces, también es utilizada para el proceso de potabilización, por tal motivo, en el presente documento se encuentra información de la acuicultura ya que es la actividad base de la estación, sin embargo, es la planta de potabilización de agua a lo que se va a dirigir la evaluación, por esto la importancia de conocer el funcionamiento tanto teórico como actual de la misma.

4.1.4 Actividades de la estación acuícola.

En la estación de Repelón se vienen desarrollando programas de generación y validación de nuevas tecnologías y la producción masiva de especies de peces nativas y exóticas. La Estación Piscícola de Repelón es pionero en el desarrollo de investigaciones integrales en el campo de la Biología reproductiva y ecología trópica, reproducción, limnología, calidad de agua, nutrición y alimentación, genética, cultivos de organismos acuáticos (peces y crustáceos), que han obedecido a necesidades regionales y señales de mercado. Todas las investigaciones

desarrolladas han contribuido al incremento de la actividad acuícola a nivel regional. Estas investigaciones se orientan a: Promover el desarrollo de la acuicultura, creando propuestas tecnológicas, dentro de las cadenas productivas, con lo cual también se impulsa y apoya el sostenimiento de las distintas especies acuáticas con importancia en explotación artesanal y comercial; a impulsar los programas de fomento piscícola y repoblamiento de cuerpos de agua de uso público para el desarrollo de la pesca artesanal (función del Estado) (ICA, 2008).

Así mismo, se realiza la producción masiva de alevinos de diferentes especies, tales como bocachico, cachama, tilapia roja reversada, mojarra o tilapia plateada reversada y ambos sexos, para programas de fomento de la acuicultura y la pesca artesanal (repoblamiento), pero es el INCODER la entidad encargada de promover y apoyar la ejecución de la política establecida por el Ministerio de Agricultura para fomentar el desarrollo productivo pesquero, por lo que a partir de la sanción de la Ley 1152 de 2007 el ICA no realizará las actividades de fomento de la acuicultura (ICA, 2008).

En este centro se ha trabajado con especies nativas, en diferentes áreas:

- Bocachico: investigación y repoblamientos
- Cachama: incentivo a las comunidades para acuicultura
- Coroncoro: investigación en alimento y toxicidad
- Lisa y lebranche (Mugílidos): repoblamientos y transferencias

Otra de las actividades adelantadas por este centro piscícola es el repoblamiento con especies de peces nativas y exóticas, y el trasplante de Mugílidos, el cual se realiza anualmente desde hace más de 20 años y se conoce como la “Operación Lisa”, que consiste en el rescate y

siembra de lisas y lebranches en cuerpos de agua como lagunas o embalses (10 millones alevinos anuales) (ICA, 2008).

Esta estación, funciona también como un centro de formación en donde reciben capacitación en temas relacionados con la acuicultura alrededor de 1000 usuarios anuales, entre campesinos, pescadores, indígenas, negritudes, desplazados, reinsertados, estudiantes y funcionarios de otras entidades, de los departamentos de la costa Caribe. No existe otra Estación Piscícola en el norte del país que realice estas funciones por parte del Estado colombiano. También se ha constituido en una infraestructura para la realización de cursos internacionales que han capacitado al personal colombiano (productores, entes estatales, universidades, etc.) en diferentes temas como patología, genética, nutrición, etc. (ICA, 2008)

Es importante tener en cuenta las diferentes actividades que realiza la estación acuícola, para tener claro a lo que se quiere llegar, a una mejora de la calidad del agua para el consumo humano, porque no solo se trata de abastecer a la estación acuícola y a los habitantes que se encuentran en dicha estación, sino también a todas las personas que tienen relación con la estación acuícola, como las personas que reciben formación y los usuarios (que son alrededor de 1000 usuarios anuales). A continuación, en la figura 2 una vista panorámica de la estación acuícola.



Figura 2. Estación acuícola vista panorámica. En donde se encuentra un pequeño brazo del embalse el guajaro de donde toman el agua, y se ve una parte del sistema de agua potable, el tanque elevado y en donde se encuentran los filtros de tela.

Fuentes: propia de los autores

4.2 Sistema de potabilización de agua de la estación acuícola de Repelón

En la estación acuícola del municipio de Repelón -Atlántico, el sistema de potabilización de agua está basado en los filtros de la década de los 90 en donde solo existía el proceso de filtración, con distintos materiales de suelos dentro de él, que purificaba el agua para una mejor calidad del consumo de esta, eso fue antes de la aparición de la coagulación y la floculación.

Es un sistema bastante antiguo pero funcional, con la capacidad de abastecer a toda la estación acuícola y a los habitantes que se encuentren ahí, teniendo en cuenta que un habitante promedio necesita de 1 a 2 litros de agua al día para el consumo, sin sumar las demás necesidades que se le presente.

Por ello es importante hacer la evaluación del sistema de agua potable, para verificar su buen funcionamiento, para detectar y solucionar aquellas falencias que se encuentren para una calidad del agua.

4.3 Descripción del sistema de potabilización de agua de la estación acuícola

El sistema de potabilización de agua de la estación acuícola tiene la siguiente secuencia mostrada en la figura 3:

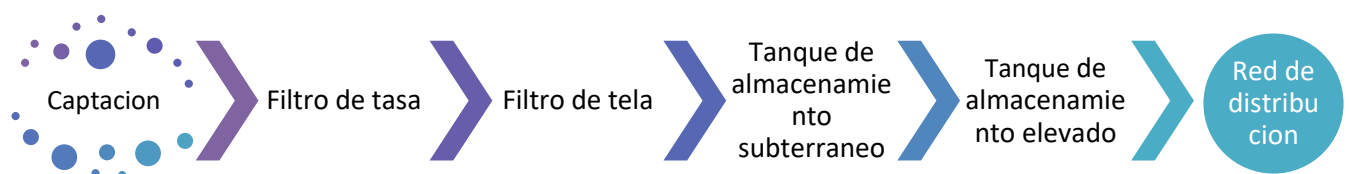


Figura 3. Secuencia del sistema de agua potable de la Estación acuícola de Repelón. Se indica del comienzo hasta el final de cómo funciona el sistema de agua potable de la estación acuícola, mostrando una idea clara de las descripciones que se verán a continuación.

Fuentes: propia de los autores

4.3.1 Fuente de abastecimiento y captación.

El sistema de agua potable de la estación acuícola utiliza como fuente de abastecimiento el embalse del Guájaro llamado también ciénaga del Guájaro, es de gran importancia para los municipios del sur del departamento del Atlántico. Esto, porque abastece de agua a los distritos de riego de Repelón y Manatí, cumpliendo un papel fundamental en la economía agrícola y pesquera de la zona, siendo una fuente para la generación de ingresos. (Corporacion PBA, 2017).

Además, municipios como Sabanalarga (corregimiento de la Peña), Luruaco, Repelón y Manatí aprovechan este embalse para la explotación pesquera y para el ecoturismo. (Corporacion PBA, 2017).

Con una superficie que comprende los 160 kilómetros cuadrados y una capacidad de almacenamiento de 400 millones de metros cúbicos de agua, el embalse no solo se alimenta del Canal del Dique sino que también le sirve de desagüe, a través de unas compuertas construidas a la altura del corregimiento de Villa Rosa, Repelón. (Corporacion PBA, 2017).

La captación se hace desde el brazo de una fuente superficial este tipo de captación es de toma directa, esta es la adecuada para el caso de ríos, lagos o embalses, cuando el nivel del agua de estos es estable durante todo el tiempo hidrológico (Ministerio de desarrollo economico, 2000).

En la entrada de este brazo que está ubicado dentro de la estación acuícola del municipio de Repelón, se encuentran unas compuertas la cual facilita la entrada del flujo del agua.

El brazo de concreto que se observa en la figura 4, fue integrado mediante un convenio entre la estación acuícola de Repelón y la Universidad de la Costa, y esto con el fin de que el flujo del agua no se extendiera y tener un caudal fijo.



Figura 4. Punto de captación el pequeño brazo del embalse del guajaro que se encuentra dentro del terreno de la estación acuícola, y vemos una estructura de concreto, que fue construida para mantener el agua en un solo lugar.

Fuentes: propia de los autores

4.3.2 Sistema de tratamiento de potabilización del agua.

Situada dentro de la estación acuícola de Repelón. La planta fue diseñada en la década de los 90's, inspirada en la primera planta de filtros lentos de arena hecha por "The Chelsea Water Work co." en 1829, en Londres (Valencia, 2000) y modificada en el 2011 por la Universidad de la Costa mediante un convenio. La planta está compuesta por un filtro de rata, un filtro de tela (que fue añadido en el 2011), un tanque de almacenamiento subterráneo donde se agrega el cloro, que antes era en pastillas y ahora es en polvo; la desinfección se hace de forma manual,

según una dosis establecida por los operarios y luego pasa al tanque elevado, desde donde se distribuye a todas las áreas de la estación.

4.3.3 Filtración

La filtración puede efectuarse en muchas formas distintas: con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), con diferentes medios porosos (arena, antracita, granate, etc.); empleando solo un medio (lecho simple) o varios medios (lecho mixto), con flujo ascendente o descendente; por último, un filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante (Valencia, 2000).

4.3.3.1 Tipos de filtración.

A medida que se filtra a una carga superficial mayor, la carrera de filtración se acorta proporcionalmente, pero la cantidad de agua producida entre lavado y lavado se aumenta. En otras palabras, lo que debe considerarse es el volumen total de agua que se puede obtener durante el período de servicio del filtro. Se puede obtener el mismo volumen con baja carga superficial y largas carreras o con alta carga y cortas carreras. La carga más alta posible produce la mínima área superficial y con ello el mínimo costo inicial (Valencia, 2000). En la tabla 1 se encuentran los tipos de filtro según su velocidad, medio filtrante, sentido del flujo y la carga sobre el lecho.

Tabla 1

Tipos de filtros

SEGÚN LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN	SEGÚN EL MEDIO FILTRANTE USADO	SEGÚN EL SENTIDO DEL FLUJO	SEGÚN LA CARGA SOBRE EL LECHO
LENTO	ARENA	ASCENDENTE DESCENDENTE	POR GRAVEDAD

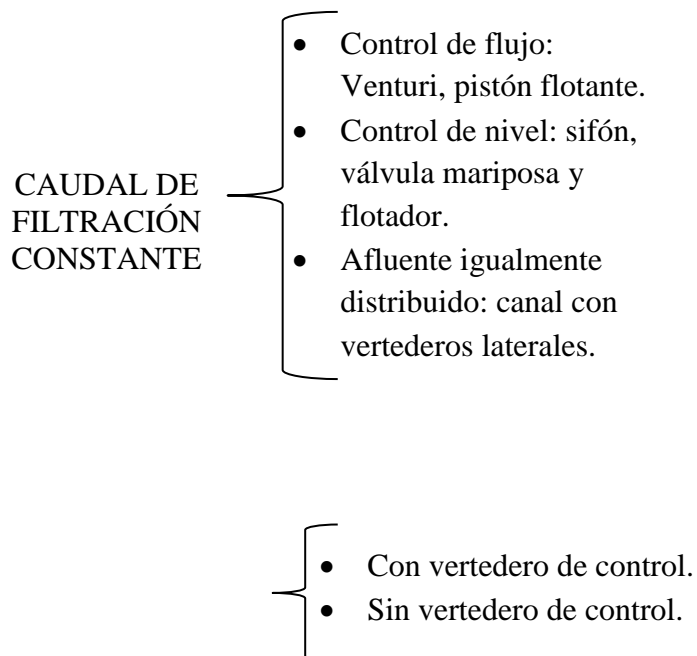
RÁPIDO	LECHO SIMPLE: ARENA, ANTRACITA	ASCENDENTE DESCENDENTE	POR GRAVEDAD Y POR PRESIÓN
RÁPIDO	LECHO MIXTO: LECHO DOBLE (ARENA, ANTRACITA) Y LECHO TRIPLE (ARENA, ANTRACITA, GRANATE)	ASCENDENTE DESCENDENTE	POR GRAVEDAD Y POR PRESIÓN

Fuente: (Valencia, 2000)

4.3.3.2 Sistema de operación de los filtros.

Los filtros rápidos, cualquiera que sea su caudal de flujo o medio filtrante que se use, requieren de algún sistema de control para regular la hidráulica del proceso. De lo contrario, al iniciar la operación con el filtro limpio dejando la válvula efluente abierta, el nivel de agua en el filtro no se restablece, sino que, por el contrario, queda la superficie del lecho descubierta. A medida que progresa la carrera de filtración, la pérdida de carga aumenta y el nivel de agua en el filtro va subiendo en proporción hasta rebasarlo por completo si no se toman medidas a tiempo, lavando la unidad o cerrando el afluente (Valencia, 2000).

Los sistemas de control de los filtros pueden sintetizarse así como se ve en la figura 5:



CAUDAL DE
FILTRACIÓN
DECLINANTE

figura 5. Sistema de control de los filtros

Fuente: (Valencia, 2000)

4.3.3.3 Tasa declinante.

Cuando la filtración se hace con tasa declinante, el flujo afluente o efluente no se regula, sino que se deja que la velocidad de filtración tome el valor que corresponde al estado de colmatación individual de cada lecho filtrante. En consecuencia, el flujo en cada unidad decrece con el tiempo sin perjuicio de que el caudal producido por todas las unidades sumadas se mantenga constante. La tasa declinante puede ser continua o escalonada (Valencia, 2000).

4.3.3.4 Tasa declinante continuo.

Este es el caso de la estación acuícola del municipio de Repelón, el nivel y la altura total H en el filtro se mantiene constante mientras el caudal de flujo disminuye en proporción al aumento de la pérdida de carga, como se observa en la figura 6 (Valencia, 2000).

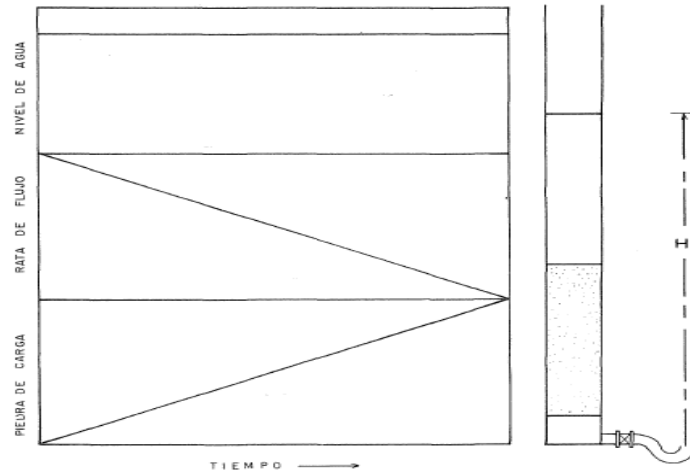


figura 6. Filtro de tasa declinante continuo.

Fuente: (Valencia, 2000)

Tratándose de una batería de varios filtros, en cada unidad el flujo que entra es igual al que sale pues no existe ningún proceso de embalse en la caja del filtro, lo que hace que el nivel de filtración permanezca estático durante la carrera (Valencia, 2000).

Los filtros más sucios le transfieren la carga que no alcanzan a filtrar a los más limpios, manteniendo un balance entre el flujo afluente y el efluente con que la batería está trabajando. Esto puede ocurrir solo cuando no hay la menor variación ni en el caudal que entra a la planta ni el número de unidades en servicio a través del tiempo, lo que ocurre en la práctica (Valencia, 2000).

Una aproximación al sistema de caudal declinante continua fue hecha por Hudson (1963), utilizando para ello una cámara de igualación, a donde llegan los efluentes de todos los filtros o un grupo de filtro y de donde se los bombea al tanque de agua clara. Todas las unidades descargan a un múltiple efluente y la presión en este múltiple controla el caudal de flujo en la batería de filtro. Cuando la presión aumenta esta disminuye y viceversa. Las bombas son de flujo

variable, de forma de poder ajustar el gasto que entra y que sale, conservando así un nivel estable y común en todas las unidades (Valencia, 2000).

Las plantas de tratamientos de Wayne Country, Paughkeepsie, Wyandotte, Michigan y Greensboro (E.U), son de este estilo y han venido operando correctamente. Muestra un incremento de flujo durante el lavado de cada unidad, como se ve en la figura 7 (Valencia, 2000).

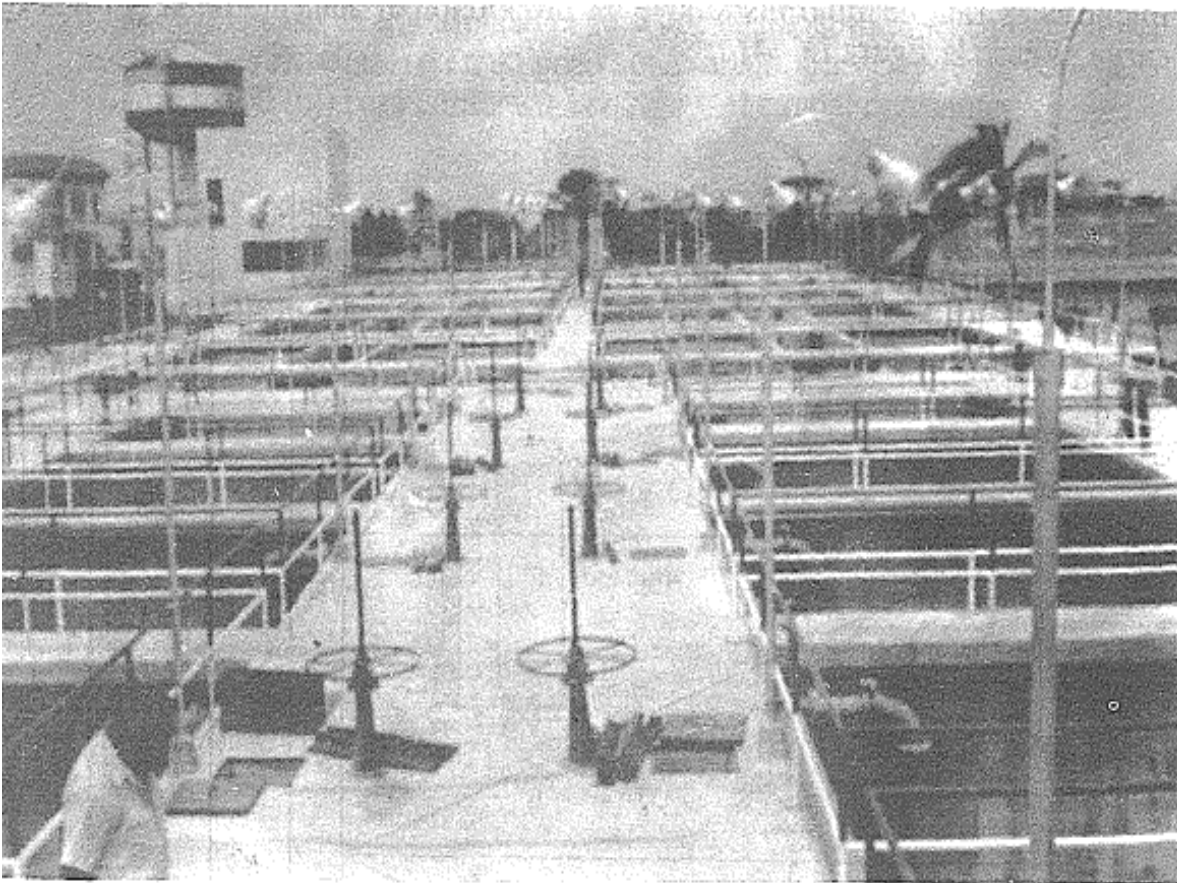


figura 7. Filtro de rata declinante de Barranquilla (Colombia).

Fuente: (Valencia, 2000)

A continuación en la figura 8, se observara el filtro de la estación acuícola, si se compara con la anterior figura 7, se muestra que es casi igual, siendo la de la estación acuícola más pequeña que la que se encontraba en Barranquilla.



Figura 8. Filtro de tasa declinante de Repelón –Atlántico. Este sistema trabaja con cuatro filtros como se ve en la figura, consta de 4 palancas y 6 estructuras donde 4 son los filtro, 1 es la entrada y otra es donde se almacenan los lodos.

Fuentes: propia de los autores

4.3.4 Operación de los filtros.

El medio filtrante es de especial cuidado, por lo cual debe mantenerse apto para la operación del sistema haciendo lavados continuos y cambios del lecho filtrante de lavado de filtros para obtener una limpieza efectiva del medio filtrante y evitar los problemas de: formación de bolas de barro, consolidación del lecho filtrante, desplazamiento de la grava de soporte, entrapamiento de aire o pérdidas de medio filtrante (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, Incoder, AUNAP, Universidad de la costa, 2011).

La literatura recomienda las siguientes actividades para asegurar una correcta operación del filtro:

- Evitar turbulencias indebidas y agitación del lecho filtrante durante el llenado del filtro, abriendo la válvula suavemente (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, Incoder, AUNAP, Universidad de la costa, 2011).
- Mantener una buena coagulación del agua, ajustando la dosis optima permanentemente para obtener el mejor filtrado (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, Incoder, AUNAP, Universidad de la costa, 2011) .
- El proceso de floculación sedimentación debe controlarse de tal manera, que la calidad del agua que llega a los filtros, sea uniforme y tenga menos de 10 unidades de turbiedad; porque turbiedades mayores pueden causar efluentes turbios, o un rápido incremento de la perdida de carga en el filtro (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, Incoder, AUNAP, Universidad de la costa, 2011).
- Determinar la turbiedad, el color y la perdida de carga en el efluente del filtro, (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, Incoder, AUNAP, Universidad de la costa, 2011).
- Lavar el filtro cuando este alcance la pérdida de carga máxima permitida por el sistema o cuando la calidad del agua alcance el límite máximo permitido (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, Incoder, AUNAP, Universidad de la costa, 2011).
- El operador debe remover continuamente con cedazo toda espuma y material flotante (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, Incoder, AUNAP, Universidad de la costa, 2011).
- Cada cuatro meses se deben revisar todos los elementos de operación de los filtros; además, cada año se debe programar el mantenimiento periódico de cada módulo de filtración, desocupándolo totalmente, para revisar cuidadosamente válvulas y reponer la

arena y/o la antracita que se hubiere perdido en los lavados (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, Incoder, AUNAP, Universidad de la costa, 2011).

4.3.5 Filtro de tela.

El filtro de tela, como se ve en la figura 9, funciona de la siguiente forma: el gas pasa a través de una tela de tejido o de fieltro, y quedan recolectadas en la tela, por tamizado. Los filtros de tela pueden presentar forma de hojas, cartuchos o bolsas, con un número de unidades individuales encasilladas en grupo. Las bolsas son el tipo más común de filtro de tela. A los filtros de tela se les conoce frecuentemente como casas de bolsas porque la tela está configurada, por lo general, en bolsas cilíndricas. Las condiciones del proceso son factores importantes para la selección de la tela. Algunas telas, como las poliolefinas de nylon, acrílicos y poliésteres, son útiles solamente a temperaturas relativamente bajas, de 95 a 150° C. Para flujos de gases a altas temperaturas, deben utilizarse telas más estables térmicamente, como fibra de vidrio, teflón o nómex. (Tecnofil Solutions, 2014).

En los filtros de tela limpiados por chorro pulsante las bolsas están cerradas por el fondo, abiertas en las partes superiores y reforzadas internamente por las canastillas. El gas cargado de partículas fluye desde fuera hacia el interior de las bolsas y de ahí hacia la salida del gas. Las partículas se recolectan en el exterior de las bolsas y caen hacia una tolva debajo del filtro de tela. Durante la limpieza por chorro pulsante se inyecta dentro de las bolsas un pulso corto de aire, de 0.03 a 0.1 segundos de duración, a alta presión. Para producir ese pulso se sopla a través de una boquilla Venturi por la parte superior de las bolsas, lo que ocasiona la aparición de una onda de choque que continua su trayecto hacia el fondo de la bolsa. La onda dobla la tela, separándola de la jaula y removiendo el polvo acumulado (Tecnofil Solutions, 2014).

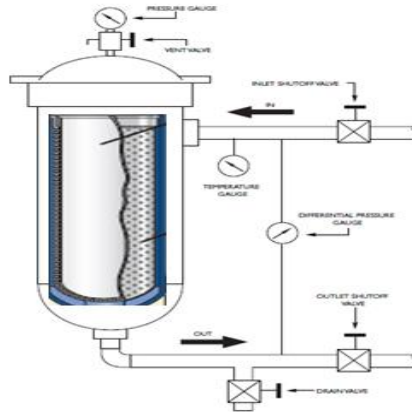


Figura 9. Filtro de tela estándar.

Fuentes: propia de los autores

4.3.6 Desinfección.

Es el último proceso de tratamiento del agua, que consiste en la destrucción selectiva de los organismos potencialmente infecciosos. (Chulluncuy-Camacho, 2011) Lo que significa que no todos los organismos patógenos son eliminados en este proceso, por lo que requieren procesos previos como la coagulación, sedimentación y filtración para su eliminación. Los factores que influyen en la desinfección son:

- Los microorganismos presentes y su comportamiento. (Chulluncuy-Camacho, 2011)
- La naturaleza y concentración del agente desinfectante. (Chulluncuy-Camacho, 2011)
- La temperatura del agua. (Chulluncuy-Camacho, 2011)
- La naturaleza y calidad del agua. (Chulluncuy-Camacho, 2011)
- El pH del agua. (Chulluncuy-Camacho, 2011)
- El tiempo de contacto. (Chulluncuy-Camacho, 2011)

La efectividad de la desinfección se mide por el porcentaje de organismos muertos dentro de un tiempo, una temperatura y un pH prefijados. La resistencia de estos microorganismos varía, siendo las esporas bacterianas las más resistentes, le siguen en resistencia los quistes de protozoarios, virus entéricos y por último las bacterias vegetativas (coliformes). La presencia de sólidos reduce la eficacia de la desinfección debido a que los organismos asociados a estos sólidos pueden estar protegidos de la acción del agente desinfectante físico o químico. Los agentes químicos más importantes son el cloro, el bromo, el yodo, el ozono, el permanganato de potasio, el agua oxigenada y los iones metálicos. Los agentes físicos más usados son los sistemas de coagulación-floculación, sedimentación, filtración, el calor, la luz y los rayos ultravioleta. El cloro es el agente desinfectante más importante; puede utilizarse en forma de gas, de líquido o de sal (hipoclorito de sodio). Es de fácil aplicación, manejo sencillo y bajo costo. En dosis adecuadas no produce riesgos para el hombre ni para los animales. Su efecto residual protege al agua de contaminarse en las redes de distribución. Es importante tomar precauciones en el uso del cloro, debido a la formación de trihalometanos, los cuales son considerados potencialmente peligrosos. La Agencia para la Protección del Ambiente de Estados Unidos ha fijado un límite máximo permisible de 0,08 mg/l para los trihalometanos en el agua para consumo humano. (Chulluncuy-Camacho, 2011).

4.3.7 Tanques de almacenamiento.

Los tanques de almacenamiento tienen el objetivo de almacenar agua para seguir cubriendo la demanda durante un cierto período de tiempo en caso de alguna falla en la red matriz. Dentro de este tipo de tanques se incluyen aquellos que se encuentran a la salida de las plantas de tratamiento de agua potable. (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2010).

Las funciones que debe cumplir un tanque de almacenamiento son las siguientes:

1. Suministrar agua potable a los consumidores en la cantidad y calidad necesaria, incluyendo la variación de la demanda a lo largo del día.
2. Suministrar suficiente agua en caso de ocurrir situaciones de emergencia, tales como incendio, daños en la red de conducciones, daños en las estaciones de bombeo, operaciones de mantenimiento especiales, operaciones de emergencia causadas por estallidos de tuberías, etc.
3. Compensar las variaciones de los consumos que se producen durante el día.

4.3.4.1 Tipos de tanques de almacenamiento de agua.

Dependiendo de su ubicación sobre el terreno, los tanques de almacenamiento y/o compensación se clasifican en:

- Tanques subterráneos
- Tanques semienterrados
- Tanques superficiales
- Tanques elevados.

4.3.4.1.1 Tanques subterráneos.

Estos tanques se encuentran situados en su totalidad bajo el nivel del suelo. Su uso es recomendable cuando la topografía del terreno permite garantizar la presión mínima requerida en todos los puntos de la red de distribución. Dentro de las desventajas de este tipo de tanques se encuentran la necesidad de realizar grandes excavaciones para el tanque y demás instalaciones, además de la dificultad para el control de posibles filtraciones (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2010).

4.3.4.1.2 Tanque elevado.

Los tanques elevados son aquellos cuya base está por encima del nivel del suelo y se encuentran apoyados sobre una estructura de soporte. Se emplean principalmente en poblaciones con topografía plana donde no existen en sus proximidades elevaciones naturales con altimetría apropiada. (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2010).

4.4 Marco legal.

Dentro de los aspectos legales que se emplean como apoyo fundamental para el desarrollo de esta investigación y el normal funcionamiento del sistema de agua potable del municipio de Repelón están las disposiciones que regulan las acciones en cuanto a la calidad del agua para consumo humano.

En Colombia se enfrenta al reto de mejorar y monitorear los sistemas de potabilización del agua, teniendo como fundamento el siguiente marco legal:

- **Decreto 1575 del 09 de mayo del 2007:** Por el cual establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para el consumo humano, con el propósito de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo (ministerio de proteccion, 2007).
- **Resolución 2115 del 22 de junio del 2007:** por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Conforme al decreto, las características físicas, químicas y microbiológicas del agua apta para el consumo humano son: (Ministerio de la proteccion social, 2007).

Tabla 2

Características físicas del agua según la Resolución 2115 de 2007

Características	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de platino cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades nefelometrías de turbiedad (UNT)	2

Fuente: (Ministerio de la protección social, 2007)

- **Resolución 0811 del 05 de marzo de 2008:** por medio de la cual se definen los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución (Ministerio de ambiente, 2008).
- **Resolución 1096 del 17 de noviembre de 2000:** en el ejercicio de las facultades que le confieren la ley 142 de 1994 y en especial las consagradas por el artículo 3 y 17 de decreto 219 de 2000. Por el cual opta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico-RAS (Ministerio de desarrollo económico, 2000).

Estos documentos señalan los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al sector de agua potable y saneamiento básico. El cual proporciona las bases sobre las cuales las instituciones construyen y determinan el alcance y naturaleza de la participación política. El cual se tendrá presente a la hora de las diferentes evaluaciones del sistema de agua potable y de la calidad del agua. Es importante tener en cuenta estas normativas ya que permite identificar las diferentes variables, parámetros y posibles metodologías.

4. Diseño metodológico

El presente documento pertenece al modelo de investigación aplicada, a la que también se le denomina activa o dinámica, y depende tanto de aportes teóricos como de descubrimientos basados en la parte experimental. Se busca confrontar la teoría con la realidad. También responde a una fusión entre investigación descriptiva y evaluativa ya que se va a comprender la descripción, registro, análisis e interpretación de lo actual y la composición de cada uno de los procesos. Así mismo, analiza la estructura, el funcionamiento y los resultados con el fin de proporcionar información para la toma de decisiones, permite estimar la efectividad en este caso de la planta de agua potable (Tamayo, 2003).

Para evaluar el sistema de tratamiento de agua de la estación acuícola de Repelón, se empleó la metodología establecida en el libro “MEJORAMIENTO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA” de la Organización mundial de la salud (OMS), el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y la Organización Panamericana de Salud (OPS).

Este documento es un referente para los responsables del diseño, operación, mantenimiento y mejoramiento de las plantas de tratamiento de agua. También es útil para los gerentes de organizaciones relacionadas con el agua, los funcionarios que trabajan en salud ambiental y los estudiantes (Ambiente, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del, 2002).

A continuación, en la figura 10 se puede evidenciar el paso a paso del proceso para llevar a cabo la evaluación de la planta potabilizadora de agua.

ETAPAS DEL PROCESO

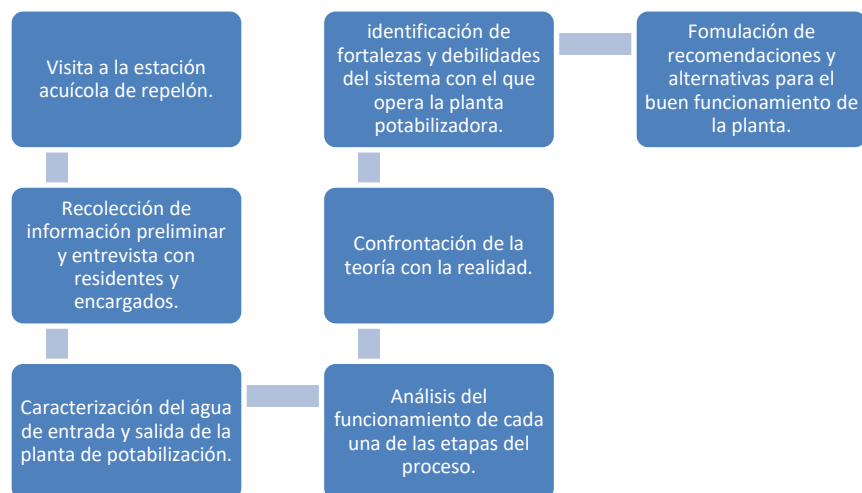


Figura 10. Etapas en las que se desarrolló el proceso. En donde se podrá ver reflejado lo que se hizo desde el principio del proceso de evaluación hasta el final de este.

Fuentes: propia de los autores

5.1 Procedimiento del análisis físico-químico del agua

Se hizo un análisis del agua de entrada al sistema, el agua del tanque de almacenamiento y el agua de salida y se compararon con la resolución 2115 de 2007. Los parámetros que se midieron son los siguientes: Turbiedad, Color, Alcalinidad, Conductividad, Ph, Oxígeno disuelto y Temperatura. Estos parámetros fueron tomados con base en los procedimientos estándar definidos por el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. (Ministerio de vivienda, ordenamiento territorial y medio ambiente, 1996).

5.2 Procedimiento de prueba de jarra

Se determinó las características del agua cruda (turbiedad, alcalinidad, color, temperatura y PH). Se agitó suficientemente la muestra para homogenizarla.

Se llenó con un litro de agua cruda c/u de los vasos (12 unidades) y se ubicaron en el equipo de prueba de jarra.

5.2.1 Preparación dosis coagulante.

Se preparó una solución de sulfato de aluminio tipo B al 1%, de la solución preparada se tomaron dosificaciones diferentes para iguales muestras de agua, a continuación en la tabla las diferentes dosificaciones.

Tabla 3

Dosis del coagulante

Vasos	Dosificación
1	20mg
2	30mg
3	35mg
4	40mg
5	45mg
6	50mg
7	55mg
8	60mg
9	65mg
10	70mg
11	80mg
12	90mg

Nota: Fueron las preparaciones que se escogieron para determinar la dosis optima necesaria para el mejoramiento del agua.

Fuentes: propia de los autores

5.2.2 Aplicación de coagulante.

Se colocó el equipo a 100 r.p.m se adicionó simultáneamente la dosis correspondiente a cada vaso, lo más cercano posible a la paleta de agitación.

A los 60 segundos se suspendió la mezcla rápida e inicio la floculación de 45 r.p.m. suspendidas la paleta comenzó la sedimentación y se dejó 6 minutos.

Terminando el tiempo de sedimentación se tomó inmediatamente una muestra de cada vaso (100 ml aproximadamente).

A cada una de las muestras tomadas se le determino: turbiedad, color, pH y alcalinidad.

5.3 Procedimiento para análisis microbiológico

El método consiste en desarrollar solo una prueba presuntiva en el que una reacción negativa excluye la presencia del grupo coliforme.

Análisis microbiológico: Bacterias coliforme

Si se observa crecimiento bacteriano con producción de gas las 24h o antes, la presencia de bacterias coliforme fecales se considerará confirmada.

Cabe resaltar que durante la puesta en marcha del proyecto se realizaron tomas de muestras triplicadas en diferentes etapas del proceso para su posterior caracterización y con base a los análisis de los resultados detectar las debilidades y fortalezas del funcionamiento actual y dictar una serie de recomendaciones para la mejora.

5.4 Área de estudio

La estación acuícola del bajo magdalena se encuentra ubicada en el municipio de Repelón, departamento del Atlántico. Geográficamente se localiza a los 10° 29' 46" de latitud Norte y 75° 07' 52" de longitud Este y está a una altura de 10 m.s.n.m. (ICA, 2008).

En la siguiente figura 11 se puede observar la estación acuícola desde una vista aérea. De lado izquierdo se observa la ubicación y los municipios vecinos, y en lado derecho se observa de cerca la estación acuícola y toda el área que abarca.



Figura 11. Vista aérea de la estación acuícola del municipio de Repelón. En una figura podemos ver donde se encuentran el municipio geográficamente y en la otra figura la dimensión de la estación.

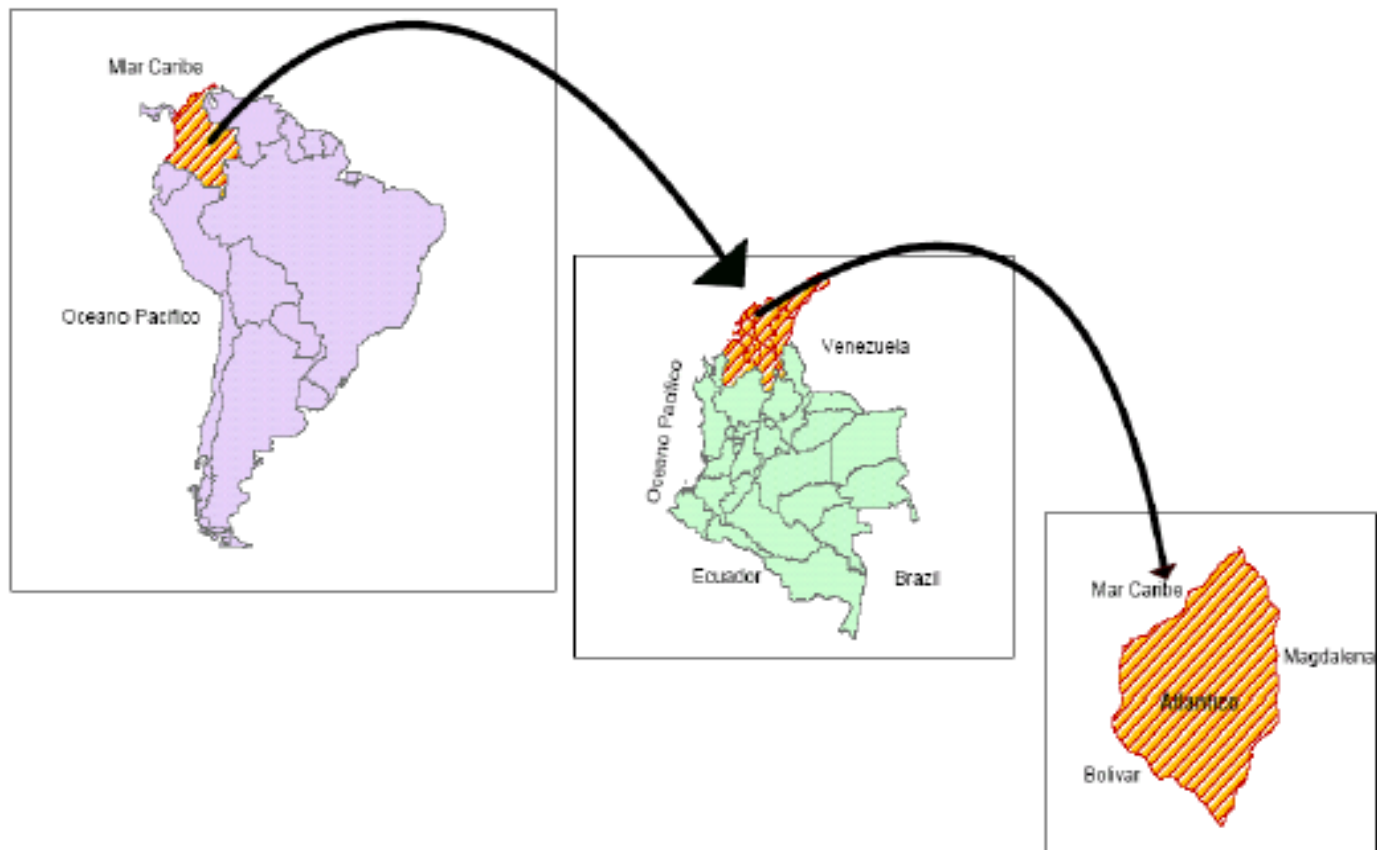
Fuentes: MINAGRICULTURA, AUNAP, 2015.

El Municipio de Repelón limita al:

- **Norte:** con el Municipio de Luruaco. (alcaldía de repelon-Atlantico , 2012)
- **Sur:** con los Municipios de Soplaviento y San Estanislao de Kostka (Arenal), en el Departamento de Bolívar. (alcaldía de repelon-Atlantico , 2012)
- **Oriente** con los Municipios de Sabana larga y Manatí. (alcaldía de repelon-Atlantico , 2012)
- **Occidente:** con los Municipios de Villa Nueva y Clemencia en el Departamento de Bolívar (alcaldía de repelon-Atlantico , 2012).

A continuación, la imagen de la localización espacial del departamento del atlántico en la figura 12 y la localización del municipio de repelón en la figura 13.

LOCALIZACION ESPACIAL



Fuente: Subregionalización Departamento del Atlántico. Secretaría de Planeación Departamental

Figura 12. Localización del departamento del Atlántico.

Fuente: (DANE, 2015)



Figura 13. Localización del municipio de Repelón.

Fuente: (DANE, 2015)

5. Funcionamiento del sistema de agua potable de la estación acuícola

6.1 Filtro de tasa de la estación acuícola.

El sistema de tratamiento de la estación acuícola tiene una batería de filtros con cuatro unidades de filtración, del tipo denominados filtros hidráulicos de lecho dual antracita arena, operación a tasa declínate, lavado con flujo precedente de las otra unidades. A continuación, en la figura 14 y 15 se muestra el filtro utilizado en la estación acuícola descrito anteriormente.



Figura 14. Filtro de tasa de la estación acuícola de Repelón.

Fuente: Autores



figura 15. Vista superior del filtro de tasa de la estación acuícola de Repelón

Fuente: Autores.

6.2 Especificaciones técnicas del filtro de la estación acuícola:

En la tabla 4. Se observaran las especificaciones técnicas del filtro y sus valores.

Tabla 4

Especificaciones técnicas del filtro de la estación acuícola.

PARAMETROS	VALORES
Flujo de agua tratada	25 l/s
V (Velocidad ascensorial)	0,0091 m/s = 0,55 m/min = 786 M ³ , M ² / día
A (área del filtro)	2,75 m ²
Dimensión del filtro	3,06 m ²
Numero de filtros	4
Área total de filtración	12.24 m ²
Tasa media de filtración	176.4 m ³ / M ² / día
Tasa mínima (valores optados)	190 m ³ /m ² /día
Tasa media (valores optados)	260 m ³ /m ² /día
Tasa máxima (valores optados)	300 m ³ /m ² /día

Fuente: (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, Incoder, AUNAP, Universidad de la costa, 2011)

6.2.1 Características del medio filtrante:

El material filtrante está compuesto de arena y antracita de las siguientes características que se muestran en la tabla 5:

Tabla 5

Material filtrante para el filtro de tasa declínate continuo de la estación acuícola de Repelón

	Tamaño	Coeficiente		Peso		Coeficiente
Material	Efectivo (mm)	Uniformidad	Espesor	Especifico	Porosidad	Esfericidad
Arena	0.55	1.5	0.30	2.65	0.40	0.81
Antracita	1.10	1.4	0.40	1.50	0.50	0.70

Fuente: (Universidad de la costa; Incoder; UNAP; Ministeriode agricultura y desarrollo rural, 2012)

El lecho filtrante de un filtro debe tener las siguientes especificaciones según la literatura en la tabla 6:

Tabla 6

Material filtrante para el caso de filtro de tasa declinante continuo con lecho mixto.

Material	Espesor del lecho			Tamaño efectivo			Coeficiente de uniformidad
	Rango (m)	Valor medio (m)	Recomendado	Rango (m)	Valor medio (m)	Recomendado	
Arena	0.15-0.30	0.25	0.25	0.3-0.5	0.4	0.4	<1.8
Antracita	0.45-0.70	0.55	0.55	0.70-1.3	0.10	0.9	<1.6

Fuentes: Perez, 1981

Al comparar el material filtrante del filtro de tasa del sistema de la planta de la estación acuícola con un referente teórico en la tabla 7 se puede observar que algunos de los materiales del sistema de agua de la Estación Acuícola están iguales a los del referente teórico, sin embargo se encontraron que otros materiales están por encima de lo que recomienda la teoría. Se puede decir que esto influye en el mal funcionamiento de la planta y se recomienda que se tenga en cuenta para el mejoramiento del sistema de agua potable.

Tabla 7

Comparación de material filtrante

	Material			
	Arena		Antracita	
	Estación	Referente	Estación	Referente
	Acuícola de	teórico	Acuícola de	Teórico
	Repelón		Repelón	
Espesor del lecho	0.30	0.25	0.40	0.55
Tamaño efectivo	0.55	0.40	1.10	0.9
Coefficiente de uniformidad	1.5	<1.8	1.4	<1.6
Peso específico	2.65	2.65	1.50	1.50
Dureza		7		3.0

Fuente: (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, Incoder, AUNAP, Universidad de la costa, 2011)

6.2.2 Cálculo de velocidad ascensional de lavado del filtro.

A continuación se presentan los cálculos que se realizaron a la velocidad ascensional, para esto se debe sacar el valor de la expansión de los diferentes materiales que se encuentran en el filtro, se comenzara con la antracita.

a. Expansión de la antracita

Se opta una expansión del 20% para esto se aplica la ecuación:

$$L_0 = \frac{L(1-f)}{1-f_0} \quad (\text{Ec. 1}) \quad (\text{Lawrence K. Wang, Nazih k. Shammass, 2015})$$

En la tabla 8 se muestran las variables, sus significados y sus valores.

Tabla 8

Variables y valores de la expansión de la antracita

Variable	Nombre de la variante	Valores
L_0	Altura del lecho filtrante durante el lavado	$= 1.20 \times 0.40 = 0.48 \text{ m}$
L	Altura del lecho en reposo	$= 0.40$
f_0	Porosidad del lecho durante el lavado	
f	Porosidad del lecho en reposo	$= 0.5$

Fuente: (Universidad de la costa; Incoder; UNAP; Ministeriode agricultura y desarrollo rural, 2012)

Reemplazando se obtiene f_0 :

$$0.48 = \frac{0.40}{1-f_0} (1 - 0.50) \quad 1 - f_0 = \frac{0.40}{0.48} (1 - 0.50) \quad 1 - f_0 = 0.42 \quad f_0 = 0.42 - 1$$

$$f_0 = 0.58$$

Después de realizar la expansión para la antracita se procede a aplicar la fórmula de Velocidad Ascensional que sería:

$$\frac{f_0}{1-f_0} = \frac{K}{g} x \frac{\mu x V}{\rho s - \rho} x \frac{(6)^2}{Ced} \quad (\text{Ec. 2}) \quad (\text{Lawrence K. Wang, Nazih k. Shammass, 2015})$$

En la tabla 9 se muestran las variables, sus significados y sus valores.

Dónde:

Tabla 9

Valores y variables de la velocidad ascensional a partir de los datos de la antracita.

Variantes	Nombre de la variante	Valores
K:	Constante	=4.0
g	Gravedad	= 9.81 m/seg ²
μ	Viscosidad absoluta del agua a 20°	= 1.0087 x 10 ⁻³ Kg $\frac{\text{masa}}{\text{m}}$ Seg
ρs	Densidad de la Antracita	= 1.50 x 10 ⁺³ Kg $\frac{\text{masa}}{\text{M}^3}$
ρ	Densidad del agua a 20°	= 0.99823 x 10 ³ Kg $\frac{\text{masa}}{\text{M}^3}$
V	Velocidad ascensional del agua en m/seg	
Ce	Coefficiente de esfericidad	= 0.70
d	Diámetro de la Antracita	Está comprometido entre los tamices: Tamices # 18 (1.0m) y # 16 (1.19 mm) de la serie americana. d = (1.0 x 1.19) ^{0.5} = 1.09 mm = 1.09 x 10 ⁻³ m

Fuente: (Universidad de la costa; Incoder; UNAP; Ministeriode agricultura y desarrollo rural, 2012)

Reemplazando en la ecuación 2 para obtener la velocidad ascensional se obtiene:

$$\frac{0.58}{1-0.58} = \frac{4.0}{9.81 \text{ m/seg}^2} \times \frac{1.0087 \times 10^{-3} \text{ Kg } \frac{\text{masa}}{\text{m}} \text{ Seg} \times V}{(1.5 \times 10^{+3} \text{ Kg } \frac{\text{masa}}{\text{M}^3}) - (0.99823 \times 10^3 \text{ Kg } \frac{\text{masa}}{\text{M}^3})} \times \frac{(6)^2}{((0.70) \times (1.09 \times 10^{-3} \text{ m}))}$$

Se despeja V

$$V = \frac{4.0}{9.81 \text{ m/seg}^2} \times \frac{(6)^2}{0.70 \times 1.09 \times 10^{-3} \text{ m}} \times \frac{0.58}{1-0.58} \times \frac{1.0087 \times 10^{-3} \text{ Kg } \frac{\text{masa}}{\text{m}} \text{ Seg}}{1.5 \times 10^{+3} \text{ Kg } \frac{\text{masa}}{\text{M}^3} - 0.99823 \times 10^3 \text{ Kg } \frac{\text{masa}}{\text{M}^3}}$$

$$V = 0.0091 \text{ m/s} = 0,91 \text{ cm/s} = 54.60 \text{ cm/min} = 21.49 \text{ Pulg/min}$$

b. Expansión de la arena.

Se hará lo mismo con la arena, pero para esta se utilizará otra ecuación de Fair, Geyer, y Okun

$$\frac{f_0^3}{1-f_v} = \frac{K}{g} \times \frac{\mu \times v}{\rho^s - \rho} \times \frac{(6)^2}{Ce \times d} \quad (\text{Ec. 3}) \quad (\text{Lawrence K. Wang, Nazih k. Shammass, 2015})$$

donde:

Tabla 10

Valores y variables de la velocidad ascensional a partir de los datos de la arena

Variante	Significado de la variante	Valores
K:	Constante	=4.0
g	Gravedad	= 9.81 m/seg ²
μ	Viscosidad absoluta del agua a 20°	= 1.0087 x 10 ⁻³ Kg $\frac{\text{masa}}{\text{m}}$ Seg
ps	Densidad de la Arena	= 2.65 x 10 ³ Kg $\frac{\text{Masa}}{\text{M}^3}$
ρ	Densidad del agua a 20°	= 0.99823 x 10 ³ Kg $\frac{\text{masa}}{\text{M}^3}$
V	Velocidad ascensional del agua en m/s	= 9.1 x 10 ⁻³ m/s.
Ce	Coefficiente de esfericidad	= 0.81
d	Diámetro medio de arena	tamaño comprendido entre Tamices # 35 (0.50 mm) y #30 (0.59 mm) de la serie americana. d = (0.50 x 0.59) ^{0.5} = 0.54 mm = 0.54 x 10 ⁻³ m

Fuente: (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, Incoder, AUNAP, Universidad de la costa, 2011)

Reemplazando en la ecuación 3 los valores

$$\frac{f_0^3}{1-f_0} = \frac{4.0}{9.81 \text{ m/seg}^2} \times \frac{1.0087 \times 10^{-3} \times 9.1 \times 10^{-3}}{2.65 \times 10^{-3} \text{ Kg } \frac{\text{Masa}}{\text{M}^3} - 0.999823 \times 10^3} \times \frac{6^2}{0.81 \times (0.54 \times 10^{-3})} = 0.43$$

Interpolando en la tabla de FAIR, GEYER Y OKUM (Lawrence K. Wang, Nazih k. Shammass, 2015)

$$\frac{1}{1-f_0} = 2.33 \quad f_0 = 0.57$$

La expansión será:

$$L_0 = \frac{L(1-f)}{1-f_0} = \frac{0.30(1-0.40)}{1-0.57} = 0.42\text{m (Ec.4) (Lawrence K. Wang, Nazih k. Shammass, 2015)}$$

$$\text{En porcentaje} = \frac{0.42-0.30}{0.30} = 0.40 = 40\% \text{ (Ec.5) (Lawrence K. Wang, Nazih k. Shammass, 2015)}$$

c. Falso fondo:

El falso fondo está constituido por viguetas en V invertidas de 0.20m. de ancho por 0.25m de altura, con orificios, de $\varnothing = 1/2$ " cada 10 cm. Centro a centro, la longitud de las viguetas es de 1.80 m. Se emplean 5 viguetas de 1.20 y 2 de 1.35.

$$\text{No de Orificios} \frac{5.0 \times 1.80 + 2 \times 1.35}{0.10} = 117 \text{ orificios} \times 2 = 234 \text{ (Ec.6) (Lawrence K. Wang, Nazih k. Shammass, 2015)}$$

Caudal por orificio:

Hay dos caudales, uno en el proceso de filtración y otro en el proceso de lavado. Se usará un Caudal en el proceso de filtración:

$$\frac{6.25 \times 1 \text{ p.s}}{234} = 0.026 \quad 1. \text{ p. S. / Orificio (Ec.7)}$$

Caudal en el proceso de lavado:

$$\frac{25.1.p.s}{234} = 0.106 \text{ L. p. s. / orificio}$$

d. Lecho de soporte del medio filtrante.

Está constituido por grava en las siguientes dimensiones que se encuentran en la tabla 11:

Tabla 11

Lecho del soporte del medio filtrante

ALTURA	TAMAÑO
(cm)	
0.60	1/8" a malla # 10
0.05	1/4 "a 1/8
0.05	1/2 "a 1/4
0.05	3/4" a 1/2
0.10	1 – 1/2 "a 3/4
0.31	

Fuentes: (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, Incoder, AUNAP, Universidad de la costa, 2011)

e. pérdida de carga durante la operación de filtración

Se calculará para el máximo caudal previsto de $300 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{día} = 0.35 \text{ cm/seg}$ 3,471

t/seg/m²

f. Lecho filtrante

❖ *Antracita:*

$$h_f = \frac{f}{g} \frac{V \cdot (1-P)^2}{P^3} \frac{36}{C_{e2}} \times L \times \frac{(1)}{d^2} \text{ (Ec. 8) (Lawrence K. Wang, Nazih k. Shammass, 2015)}$$

Tabla 12

Valores y variables del lecho filtrante a partir de los datos de la antracita.

Variante	Significado de la variante	Valores
f:	Constante	=5
p	Porosidad	= 0,50
V	Viscosidad cinemática (20 ⁰ C)	=1,0105 X 10 ⁻² cm ² /seg
g	gravedad	= 9,81 m/s
C_e	Coefficiente de esfericidad	= 0,70
L	Espesor de la Antracita	=0,40
d	Tamaño del grado medio	=0.109 cm

Fuente: (Universidad de la costa; Incoder; UNAP; Ministeriode agricultura y desarrollo rural, 2012)

Reemplazando se obtiene:

$$h_f = \frac{5}{981 \text{ cm/s}} \times 0,35 \text{ cm/seg} \times \frac{1,0105 \times 10^{-2} (1-0,50)^2}{(0,50)^3} \times \frac{36}{(0,70)^2} \times 0,40 \times \frac{(1)}{(0,109 \text{ cm})^2}$$

$$h_f = 8.92 \text{ cm}$$

❖ Arena

Se emplea la misma fórmula (Ec.8)

Tabla 13

Valores y variables del lecho filtrante a partir de los datos de la arena

Variante	Significado de la variante	Valores
f:	constante	=5
p	porosidad	= 0,40
V	Viscosidad cinemática (20 ⁰ C)	=1,0105 X 10 ⁻² cm ² /seg
g	gravedad	= 9,81 m/s

C_e	Coeficiente de esfericidad	= 0,81
L	Espesor de la Antracita	=0,30
d	Tamaño del grado medio	=0.054 cm

Fuente: (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, Incoder, AUNAP, Universidad de la costa, 2011)

$$H_f = \frac{5 \times 1.0105 \times 10^{-2}}{981} \times 0.35 \times \frac{(1-0.40)^2}{(0.40)^3} \times \frac{36}{(0.81)^2} \times 30 \times \frac{1}{(0.054)^2}$$

$$h_f = 57.254 \text{ cm} \quad 58 \text{ cm}$$

❖ *Grava*

Se aplica la fórmula de Dixon (Lawrence K. Wang, Nazih k. Shammass, 2015).

$$h = \frac{VL}{3}$$

V = Velocidad en m/min = 0.35 cm/seg

$$V = \frac{0.35 \times 60}{100} = 0.21 \text{ m/min}$$

$$L = 0.31 \text{ m}$$

$$h = \frac{0.21 \times 0.31}{3} = 0.022 \text{ m}$$

Falso fondo

Los fondos estarán constituidos por viguetas en V invertida de 0.25m de ancho por 0.20m de altura y orificios de Ø ½” cada 10 cms, centro a centro

No de viguetas por filtro = 5 de 1.80 x 2 de 1.35

No de orificios por filtro = 234

Área de cada orificio = 0.00013 m^2

Caudal por filtro = 6.25 L. p. s.

$$H_f = \frac{1}{19.62} \frac{6.25 \times 10^{-3}}{0.61 \times 0.030} = 0.0059 \text{ m (Ec.9)}$$

$$H_f = 0.59 \text{ cm}$$

g. Altura sobre el vertedero de salida

Se emplea un vertedero regular de $L = 0.60\text{m}$

$$Q = 1.84 LH^{3/2}; Q = 0.025 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$H = \frac{(0.025)^{2/3}}{1.84 (0.60)} = 0.08\text{m} = 8\text{cm (Ec.10)}$$

Carga total sobre el vertedero de salida.

$$H = 8.92 + 58 + 2.2 + 0.59 + 8 = 77.71 \text{ cm (Ec.11)}$$

Se adopta una altura total para filtración de 90 cm

h. Canaleta de recolección de aguas de lavado

Caudal de lavado 25.L p.s

$$Q = 1.38 b h_o^{3/2}$$

Se proyecta una canaleta por filtro

Ancho de la canaleta 0.20m

$$h_0 = \frac{Q}{1.38 \times b}^{2/3} = \frac{0.025}{1.38 \times 0.20}^{2/3} = 0.20 \text{ m (Ec.12)}$$

Se adopta una altura de 25 cm; Dimensiones: Ancho 0.20m

Alto 0.25 m

Altura de lámina sobre vertederos de la canaleta

$$\text{Caudal con Vertedero} = \frac{0.025}{2} = 0.0125 \text{ m}^3/\text{seg (E.c 13)}$$

Longitud = 0.90m

$$Q = 1.84 L. H^{3/2}$$

Se utiliza (E.c10)

$$H = \frac{0.0125^{2/3}}{1.84 \times 0.90} = 0.038$$

i. Compuerta de salida del agua de lavado

Hacia el canal de desagüe

Q = 25 l. p. s se adopta Ø 8"

$$h = \frac{0.025}{0.61 \times 0.032}^2 \times \frac{1}{19.62} = 0.084 \text{ m}$$

j. Pérdida de carga durante el lavado del filtro

Caudal de lavado = 25 L. p. s.

Se sumarán las pérdidas de los diferentes componentes

Tubería de Ø 8" = Longitud Ø 8": 2.00 m

Codo de Ø 8" x 90°.....: 6.40 m

Entrada Normal.....: 3.50 m

11.90 m

$J = 0.531 \%$ para $Q = 25$ L. p. s. Ø 8"

$$\text{Pérdida de carga} = \frac{0.531 \times 11.90}{100} = 0.063 \text{ m (Ec.14)}$$

Falso Fondo

A continuación los cálculos

Tabla 14

Datos de los orificios

No. Total de Orificios	234
Área de cada orificio	0.00013 m²
Área total de orificios	0.00013 x 234 = 0.030 m²

Fuente: (Universidad de la costa; Incoder; UNAP; Ministeriode agricultura y desarrollo rural, 2012)

Para un Q de lavado de 25 L. p. s. se utiliza (Ec. 9)

$$hf = \frac{1}{19.62} \times \frac{25 \times 10^{-3}}{0.61 \times 0.30}^2 = 0.095 \text{ m}$$

Grava

Fórmula de Dixon (Lawrence K. Wang, Nazih k. Shammass, 2015).

$$h = \frac{VL}{3} = \frac{0.0091 \times 60 \times 0.31}{3} = 0.0056\text{m (Ec.15)}$$

Arena

$$H_f = L_0 \frac{p_s - p}{p} (1 - f_0) \text{ (Ec.16)}$$

L_0 = Altura de la arena expandida 0.42m

P_s = Densidad de la Arena = 2.65×10^3

P = Densidad del agua (20°C) = 0.99823×10^3

L_0 = Porosidad de la arena expandida 0.57

Al remplazar la (Ec.16) se obtiene:

$$H_f = 0.42 \times \frac{2.65 \times 10^3 - 0.99823 \times 10^3}{0.99823 \times 10^3} (1 - 0.58)$$

$H_f = 0.10 \text{ m}$

1.10.5 Antracita

L_0 = Expansión de la Antracita = 0.48

P_s = Densidad de la antracita = $1.50 \times 10^3 \text{ Kg } \frac{\text{Masa}}{\text{m}^3}$

$f_0 = 0.58$

se utiliza la (Ec.19)

$$H_f = \frac{0.48 \times 1.50 \times 10^3 - 0.99823 \times 10^3}{0.99823 \times 10^3}$$

$$H_f = 0.10 \text{ m}$$

Altura de la lámina de agua sobre la cresta del Vertedero de la canaleta de recolección del agua de lavado.

(Ver ITEM h)

$$H_f = 0.038$$

Pérdida de carga total

$$H = 0.063 + 0.095 + 0.30 + 0.10 + 0.038 \text{ (Ec.17)}$$

$$H = 0.061$$

Se adopta 0.90m de altura para lavado

Cotas en los filtros

- Cota de aguas mínimas en estanque = 18.00

- Pérdida de carga en captación = 0.013

- Pérdida de carga en tubería de Ø 8", dos (2) Tuberías Ø 8".

Longitud 5.60 m. Caudal por tubo 12.50 L. p. s. J = 0.011%

$$H = \frac{0.011}{100} \times 5.60 = 6.16 \times 10^{-4} \text{ (Despreciable) (Ec.18)}$$

Se adopta una diferencia de nivel de 0.04 entre estanques y filtros.

- Nivel de agua en los Filtros = 17.96
- Pérdida de carga en la operación de filtración = 0.90 m
- Cota de la cresta del vertedero de salida y control = 17.06
- Pérdida de carga durante el proceso de lavado $H = 0.90$ m
- Cresta del vertedero de la canaleta de lavado = 16.16

Salida de los filtros

El agua sale de los filtros por una tubería de $\varnothing 8'' \times 90^0$ y longitud recta de 2.00 m.

La salida de una pérdida total de 0.063 m.

El agua pasa a una cámara que tiene el vertedero de control.

Pasa por el Vertedero de Control como se vio en la (Ec.10):

$$Q = 1.84 \quad L \quad H^{3/2} \quad Q = 0.025 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$H = \frac{0.025}{1.84 (0.60)}^{2/3} = 0.08 \text{ m} = 8 \text{ cms}$$

Nivel del agua en el Vertedero de Control:

$$17.06 + 0.08 = 17.14 \text{ m}$$

6.3 Filtro de tela de la estación acuícola.

El filtro de tela fue colocado en el 2011 por medio de un convenio de la Universidad de la Costa con la Estación, fue instalado para la retención de las partículas más pequeñas y para mejorar la calidad del agua. Se tomó la decisión de comprarlo para mejorar el proceso de filtración porque el filtro de rata no estaba funcionando al 100%. Actualmente este filtro no está siendo utilizado,

por no tener sus respectivas bolsas colectoras, pero está en perfectas condiciones para ser utilizado.

En la figura 16 se pueden apreciar los filtros de la estación acuícola.



Figura 16. Filtro de tela de la Estación acuícola. Esta es la estructura donde se encuentran los filtros de tela, son dos y tienen una tubería de entrada y salida, después del filtro convencional el agua llega hasta estos filtros para filtrar las partículas más pequeñas, y el agua de salida de estos llega al tanque subterráneo.

Fuente: autores.

6.4 Tanque subterráneo de la estación acuícola

El tanque subterráneo de la estación acuícola de repelón, el cual se puede ver a continuación (figura 17) tiene las siguientes dimensiones:

Largo (L)=15 m

Ancho (a) =10 m

Altura (h)= 2 m

Volume (V) = $300 \text{ m}^3 = 3 \times 10^5 \text{ Lt.}$

Actualmente se encuentra en uso, pero necesita mantenimiento. Cuando el agua se encuentra en este tanque, el cloro es agregado en polvo, la medida aproximadamente es de 5 a 10 gramos.



Figura 17. Tanque subterráneo de la Estación Acuícola. Consta de una puerta de metal la cual no sale en la imagen, se ve la tubería que viene de los filtros de tela, en donde esta agua es almacenada para pasar al tanque elevad.

Fuentes: propia de los autores

6.5 Tanque elevado de la estación acuícola

El tanque elevado de la estación acuícola de repelón, el cual se observa en la figura 18, tiene las siguientes dimensiones:

Largo (L)=3,8 m

Ancho (a) =3,10 m

Altura (h)= 1,8 m

Volumen (V) = $21,2 \text{ m}^3$ =21.200 L.

Actualmente se encuentra en uso pero necesita mantenimiento.



Figura 18. Tanque elevado de la Estación. Es la última pieza del sistema de agua potable en donde el agua es almacenada y redistribuida a toda la estación por medio de las tuberías.

Fuentes: propia de los autores

6. Análisis

7.1 Análisis físico-químico del agua

Se analizaron 3 muestras de agua de entrada y de salida; y 2 muestras del tanque de almacenamiento. Los resultados obtenidos se examinan según lo que dicta la resolución 2115 del 2007 sobre calidad de agua para consumo humano, pudiendo señalar los siguientes aspectos:

Turbiedad: El valor máximo permisible para este parámetro según la norma es de 2 NTU, como se puede apreciar en la tabla 16 el valor está fuera del límite solo para el segundo muestreo (5,30 NTU) y al ser comparado con la tabla 15 se aprecia que sale más turbia de lo que entra, esto puede ocurrir por varias razones, en ese muestreo era épocas de lluvia y el filtro es cerrado, si no abierto y esto pudo influir en que clarificación del agua fue nula. .

Alcalinidad: El valor máximo permisible para este parámetro según la norma es de 200mg/L y como se puede evidenciar en la tabla 16, las tres muestras cumplen.

pH: El valor para el pH del agua para consumo humano, según la norma, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0. Se puede evidenciar en la tabla 16 que las tres muestras cumplen.

Color: El valor máximo permisible para este parámetro según la norma es de 15 UPC, se puede observar que la única muestra que no cumple la norma es la tercera muestra, esto se puede deber a la necesidad de mantenimiento de la planta.

Conductividad: El valor máximo aceptable para la conductividad, según la norma, puede ser hasta 1000 microsiemens/cm y como se puede evidenciar, las tres muestras cumplen.

Tabla 15

Análisis físico- químico del agua entrante..

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestras 3	Valor permisible por la norma
Turbiedad (NTU)	18	14,5	13,4	15
Alcalinidad (mg/L)	140	116	120	200
Ph	7.08	6,69	7,21	6,5 a 9,0
Oxígeno disuelto ppm	4.52	2,49	3,15	
Color	50	40	50	20
Temperatura (°C)	29.8	30	28,2	-----
Salinidad (ppt)	0.3	0,3	0,4	-----
Conductividad ms	0.617	0,681	0,874	<1000
Sólidos disueltos totales (mg/L)	0.369	0,404	0,545	500

Nota: están los valores de los 3 muestreos del agua de entrada que se realizaron.

Fuentes: propia de los autores

Tabla 16

Análisis físico- químico del agua de salida.

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Valor permisible por la norma
Turbiedad (NTU)	1.64	5,30	1,37	15
Alcalinidad (mg/L)	152	100	100	200
Ph	7.06	7,14	7,10	6,5 a 9,0
Oxígeno disuelto (ppm)	3.81	3,17	3,10	-----
Color	10	10	20	20
Temperatura (°C)	25.8°	28,7°	23,4°	-----
Salinidad (ppt)	0.4	0,3	0,4	-----
Conductividad (ms)	0.875	0,603	0,815	1000
Sólidos disueltos totales (mg/L)	0.57	0,366	0,520	500

Nota: están los valores de los 3 muestreos del agua de salida que se realizaron.

Fuentes: propia de los autores

En la siguiente tabla se pueden observar los resultados del agua almacenamiento subterráneo, la muestra 1 se ven valores diferentes comparados con la muestra 2 en la mayoría de parámetro, se deberá a la época o a la necesidad de un mantenimiento de este tanque. Estas muestras fueron tomadas la primera y última visita.

Tabla 17

Análisis físico- químico del agua entrante del tanque de almacenamiento.

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2
Turbiedad(NTU)	8,57	1,42
Alcalinidad(mg/L)	80	70
Ph	6,87	7,04
Oxígeno disuelto (ppm)	2,76	3,13
Color	20	20
Temperatura (°C)	29,2	23,3
Salinidad(ppt)	0,3	0,4
conductividad(ms)	0,621	0,804
Solidos totales (mg/L)	0,375	0,538

Fuentes: propia de los autores

7.2 Pruebas de jarra

En las tablas 11 y 12 se pueden observar los valores de la caracterización de las muestras luego de las pruebas de jarra. Los resultados de los parámetros se compararon con lo que exige la resolución 2115 del 2007 concluyendo:

Turbiedad: en el parámetro de turbiedad no todos cumplen con la resolución 2115 del 2007, porque su valor máximo aceptable es de 2 (UNT), y algunos de los valores están sobre este límite de turbiedad (UNT) el que cumple con la norma es la dosis 30 mg/l. (Ministerio de la proteccion social, 2007)

El color: el color del agua si está dentro del valor permisible de la resolución 2115, en esta resolución especifica que el valor máximo permisible es de 15 (UPC) y el de las muestras son menores al valor permisible. (Ministerio de la proteccion social, 2007)

pH: el valor debe estar comprendido entre 6,5 y 9,0; el valor de las muestras está dentro del rango aceptable. (Ministerio de la proteccion social, 2007)

Alcalinidad: la alcalinidad total tiene un valor máximo aceptable de 200 (mg/L), las muestras está dentro los parámetros aceptables. (Ministerio de la proteccion social, 2007)

Temperatura: la temperatura se encuentra dentro de los rangos normales. (Ministerio de la proteccion social, 2007)

En general, se puede decir que la dosis óptima es la solución de 30mg/L de sulfato de aluminio tipo B al 1%, ya que en la posterior caracterización se evidencia que todos los resultados de los parámetros cumplen con la normativa.

Tabla 18

Resultado de prueba de jarra 1er muestreo

Jarras	Dosis (mg/l)	Turbiedad	Color	Alcalinidad	pH	Temperatura
1	20	4,12	10	80	6,45	29,1
2	30	1,87	10	100	6,58	29,2
3	35	3,08	5	88	6,67	29,1
4	40	2,35	5	56	6,71	29,1
5	45	4,92	5	68	6,70	29,1
6	50	2,22	5	68	6,47	29,1

7	55	2,15	5	64	6,68	29,2
8	60	3,12	5	68	6,63	29,2
9	65	2,36	5	64	6,49	29,5
10	70	2,47	5	48	6,47	29,4
11	80	4,05	5	64	6,42	29,2
12	90	4,48	5	40	6,42	29,5

Fuentes: propia de los autores

Tabla 19

Resultado de prueba de jarra 2do muestreo.

Jarras	Dosis	turbiedad	Color	Alcalinidad	pH	Temperatura
	(mg/l)					
1	20	4,05	10	85	6,35	29,1
2	30	1,50	10	95	6,40	29,2
3	35	3,50	5	86	6,50	29,1
4	40	2,19	5	54	6,68	29,1
5	45	4,74	5	70	6,65	29,1
6	50	2,65	5	72	6,50	29,1
7	55	2,25	5	68	6,68	29,2
8	60	3,21	5	75	6,66	29,2
9	65	2,40	5	69	6,51	29,5
10	70	2,37	5	50	6,46	29,4
11	80	4,62	5	70	6,49	29,2

12	90	4,48	5	40	6,42	29,5
----	----	------	---	----	------	------

Fuentes: propia de los autores

7.3 Análisis microbiológico

7.3.1 Prueba microbiológica.

La prueba microbiológica es muy importante ya que los riesgos para la salud relacionada con el agua de consumos más comunes y extendidos son las enfermedades infecciosas ocasionadas por agentes patógenos como bacterias, virus y parásitos.

Según la CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias ambientales) la concentración detectable máxima (por litro) notificadas en calcularse científicas de agentes patógenos entéricos e indicadores de contaminación fecal en los lagos y embalses de E coli son de 10000-1000000 (OPS/CEPIS, 2002).

Con el proceso de filtración los agentes patógenos se eliminan un 99% en condiciones óptimas del filtro por lo cual se tomó una muestra para analizarla.

índice MPN/100 $\frac{10}{\text{ml de disolucion}} = \frac{\text{MPN}}{100}$ ml (ec.19) (Andrew D. Eaton, Leonore S.

Clesceri, Arnold E. Greenberg, 1995)

El resultado de la prueba microbiológica arrojó una combinación positiva de 3-0-0, al buscarla en la tabla 20, encontramos que su índice es 8, eso se reemplaza en la ecuación 19:

$$8 \frac{10}{0,02} = 4000 \frac{\text{MPN}}{100} \text{ ml}$$

Tabla 20

Resultado de prueba microbiológica del índice MPN y límites de confianza del embalse el Guajaro.

Combinaciones	Índice	Límite de confianza del 95%	
		Inferior	Superior
positivas	MPN/100		
3-0-0	8	3.0	24

Fuentes: (Andrew D. Eaton, Leonore S. Clesceri, Arnold E. Greenberg, 1995)

Esta agua de salida del sistema de agua potable no está dentro de los parámetros de la norma, según CEPIS ya que el agua después de los procesos de potabilización tiene que tener un índice de coliforme totales de 0,1% o ausente y en esta prueba se encontraron más de 4000 coliforme totales. Viendo los resultados se puede decir que el filtro no está en correcto funcionamiento, porque según las Organización mundial de la Salud y CEPIS un filtro de rata declinante remueve un 99% de las bacterias coliforme.

8. Análisis y discusión

Se pudo observar durante el desarrollo de la investigación que el sistema de agua potable no funciona correctamente, esto se debe a diferentes factores como: falta de mantenimiento, es un sistema ambiguo, poco conocimiento del funcionamiento del sistema, entre otras cosas. Se deja a consideración que el personal encargado siga las recomendaciones dadas a continuación para el mejoramiento de la planta de potabilización y se puedan beneficiar de la misma todas las personas que allí se encuentran.

Si se hace un análisis superficial de los resultados de cada parámetro en la caracterización, se puede notar que son mínimos los cambios en la calidad del agua. Los valores son casi los mismos tanto en el agua de entrada, la del tanque de almacenamiento y el agua de salida, excepto para la turbiedad y el color que se nota un cambio significativo que se puede atribuir al hecho de que si bien es cierto que el filtro no está funcionando debidamente. También se podría decir que está actuando como sedimentador y por esta razón el cambio en los parámetros mencionados anteriormente.

9. Conclusiones

- Se puede concluir con la evaluación del sistema de potabilización de agua de la estación acuícola del municipio de repelón, que la planta no está funcionando adecuadamente, y se puede notar al comparar los resultados de la caracterización del agua de entrada y del agua de salida.
- Al evaluar y analizar cada uno de los procesos del sistema se llegó a la conclusión que todos presentan ciertas fallas, como falta de mantenimiento y/o ajustes
- En cuanto a los análisis físico-químicos, muchos parámetros cumplen el requerimiento de la norma tanto en épocas lluviosas como en épocas secas; pero la muestra microbiológica deja en evidencia que no es apta para el consumo humano, ya que no cumple la normativa al respecto, se puede deducir que parece ser la causa más probable de los frecuentes malestares digestivos del personal de la Estación Acuícola de Repelón
- Se hizo el diagnóstico del estado de la planta en general y se plantearon una serie de recomendaciones que se pueden encontrar en el apartado anterior. Cabe resaltar que dichas recomendaciones fueron comunicadas al personal encargado.

10. Recomendaciones

Se debe hacer mantenimiento de la tubería que se encuentra dispuesta para el transporte del agua desde el momento de la captación hasta el caudal de filtración ya que actualmente esto no está funcionando correctamente y se encuentran tubos colocados en la parte superior del filtro por donde llega el agua. Se debe tener en cuenta que este filtro de rata es ascendente (de arriba hacia abajo) y no debería estar recibiendo la entrada de agua por arriba, sino por el tubo de abajo.

De igual forma hacerle ajustes y correcciones al filtro, ya que el material se encuentra revuelto, y hay gran solido disperso, insectos y sus desechos dentro del mismo. Es importante resaltar que en este momento no se cuenta con los debidos componentes necesarios para que se pueda dar la filtración, por lo tanto se recomienda hacer lavados al filtro y renovación del material necesario para evitar que los orificios sean obstruidos por el material sólido. También ajustarlo en cuanto a su flujo, ya que el flujo del agua debe ser ascendente (de abajo para arriba) y este se encuentra recibiendo un flujo de agua por la parte de arriba de la planta, esto generando un problema de colmatación que posee el filtro.

En el tanque subterráneo donde se lleva a cabo el proceso de cloración, actualmente no se tiene una medida exacta de la cantidad aplicada al agua y por esto se recomienda monitoreo permanente y determinar la dosis optima necesaria. Cuando se hicieron estas pruebas en el laboratorio, la dosis óptima de cloro fueron 2 mg/l; La dosis óptima según la ras 2000 título C sección II (Ministerio de desarrollo economico, 2000) es la que produzca un residual de cloro libre de mínimo 0.2 pm al extremo de la red, y en la prueba que se hizo en el laboratorio resulto un cloro libre de 0.2 ppm.

Es importante la concientización de las ventajas que tiene contar con el buen funcionamiento de la planta de agua potable y el compromiso por parte del personal para la operación eficiente y el manteamiento de la misma que será para su propio beneficio. Las recomendaciones dadas anteriormente han sido compartidas con la administración de la Estación acuícola.

11. Referencias

- (2012). *"MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO"*. Barranquilla/Atlantico.
- alcaldia de repelon-Atlantico . (15 de 04 de 2012). *alcaldia de repelon-Atlantico* . Obtenido de http://www.repelon-atlantico.gov.co/informacion_general.shtml#identificacion
- Ambiente, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del. (2002). *Operación y mantenimiento de plantas*. Recuperado el 20 de 03 de 2017, de [http://www.ingenieroambiental.com/4020/operacion%20y%20mantenimiento%20de%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20agua%20\(cepis\)\(2\).pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4020/operacion%20y%20mantenimiento%20de%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20agua%20(cepis)(2).pdf)
- Andrew D. Eaton, Leonore S. Clesceri,Arnold E. Greenberg. (1995). *Standard methods*.
- Angarita, Y. A. (07 de 2013). *Evaluacion de la planta de tratamiento de agua potable del municipio Garzon-Huila*. Recuperado el 24 de 03 de 2017, de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11706/1/Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20planta%20de%20tratamiento%20de%20agua%20potable%20del%20municipio%20de%20Garz%C3%B3n%20-%20Huila.pdf>
- BRACHO, J. M. (18 de 05 de 2013). *Blog spot*. Recuperado el 25 de 05 de 2017, de <http://lenjralg.blogspot.com.co/2013/03/proyecto-de-un-tanque-de-agua.html>
- Chulluncuy-Camacho, N. (26 de 03 de 2011). Tratamiento de agua para consumo humano. Peru.
- Corporacion PBA. (1 de 1 de 2017). *Corporacion PBA* . Recuperado el 29 de 1 de 2018, de <http://www.corporacionpba.org/portal/content/embalse-del-gu%C3%A1jaro-una-fuente-en-el-atl%C3%A1ntico>
- D.B city.com. (s.f.). *D.B city.com*. Obtenido de <http://es.db-city.com/Colombia--Atl%C3%A1ntico--Repel%C3%B3n>
- DANE. (2015). *DANE*. Recuperado el 23 de 05 de 2015, de <http://geoportal.dane.gov.co:8084/Divipola/>
- FAO. (2014). *Organizacion de las Naciones Unidas para la alimentacion y la Acuicultura*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i3720s.pdf>
- FAO. (s.f.). *fao organizacion* . Recuperado el 26 de 11 de 2016, de ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6708s/x6708s01.htm
- ICA. (2008). *ICA*. Recuperado el 24 de 06 de 2015, de ICA: <http://www.ica.gov.co/getdoc/6b38ac22-4940-4111-a75a-686766966639/Estacion-piscicola-de-Repelon.aspx>

- Lawrence K. Wang, Nazih k. Shammass. (2015). *Fair, geyer, and Okun's, water and wastewater Engineering: hydraulics, Distribution and treatment*. New jersey: Wiley.
- MINAGRICULTURA, AUNAP. (28 de 08 de 2015). Estacion piscicola de Repelon Atlantico.
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural, Incoder, AUNAP, Universidad de la costa. (2011). *Manual de diseño y mantenimiento de filtros de rata declinante y autolavado para el mejoramiento de la calidad del agua del embalse del guajaro estacion piscicola de repelon*. Barranquilla.
- Ministerio de ambiente, v. d. (5 de 3 de 2008). Recuperado el 26 de 11 de 2016, de <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0811-%202008.pdf>
- Ministerio de desarrollo economico. (17 de 11 de 2000). Recuperado el 25 de 11 de 2016, de <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/1096%20-%202000.pdf>
- Ministerio de desarrollo economico. (11 de 2000). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS - 2000* . Obtenido de http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/4._Sistemas_de_acueducto.pdf
- Ministerio de la proteccion social, d. a. (22 de 6 de 2007). Recuperado el 28 de 11 de 2016, de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislacion%20del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf
- ministerio de proteccion. (9 de 5 de 2007). *decreto 1575 de 2007*. Recuperado el 28 de 11 de 2016, de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec_1775_2007.pdf
- Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (2010). *Reglamento tecnico del sector de agua potable y saneamiento basico- RAS*. Recuperado el 1 de 06 de 2017, de titulo b - Sistema de acueducto.: <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO B%20030714.pdf>
- Ministerio de vivienda, ordenamiento territorial y medio ambiente. (1996). *manual dinama*. Recuperado el 14 de 03 de 2017, de http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/docs/pdfs/manual_dinama.pdf
- OMS. (2006). Organizacion Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable. geneve, Suiza. Obtenido de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf?ua=1
- OPS/CEPIS. (2002). *Tratamiento de aguas* . Lima.

Perez, J. A. (1981). *Manual de Tratamiento de aguas*. Medellin: Universidad Nacional - FACULTAD DE MINAS.

Repelon-Atlantico. (s.f.). *minilibro_repelon*. Obtenido de http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj62NudtI3TAhVEyyYKHXYpAscQFggrMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.repelon-atlantico.gov.co%2Fapc-aa-files%2F64623431623864343532336164333937%2FMINILIBRO_REPELON.doc&usg=AFQjC

Semana . (5 de 7 de 2012). *Atlántico: Embalse del Guájaro ha perdido más de 4 mil hectáreas y casi todas sus rondas naturales*. Recuperado el 3 de 08 de 2016, de <http://www.semana.com/opinion/expertos/articulo/atlantico-embalse-del-guajaro-ha-perdido-mas-mil-hectareas-casi-todas-rondas-naturales/323076>

Tamayo, M. T. (2003). *El proceso de la investigación científica*. Mexico: Limusa, S.A. de C.V. grupo noriega editores.

Tecnofil Solutions. (22 de 09 de 2014). *filtros de tela* . Recuperado el 25 de 09 de 2017, de <http://www.tecnofil.com.mx/es/productos/item/249-bolsas-filtro>

UNAP. (2 de 2014). *Plan Nacional para el Desarrollo de la acuicultura sostenible en Colombia-PlaNDAS*. Recuperado el 26 de 11 de 2016, de <http://aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/Plan-Nacional-para-el-Desarrollo-de-la-Acuicultura-Sostenible-Colombia.pdf>

Universidad de la costa; Incoder; UNAP; Ministeriode agricultura y desarrollo rural. (2012). *manual de diseño y mantenimiento de filtros de ratadeclinante y autolavado para el mejoramiento de la calidad del agua del embalse del guajaro estacion acuicola de repelon*. Barranquilla-Atlantico.

Valencia, J. A. (2000). *Teoria y practica de la purificacion del agua*. Santa Fe de Bogota, D.C., Colombia: Nomos S.A.

Anexos

Cálculos

Flujo de agua tratada: 25 l/s

Velocidad ascensorial $V = 0,0091 \text{ m/s} = 0,55 \text{ m/min} = 786 \text{ M}^3, \text{ M}^2/\text{ día}$

El área del filtro será:

El área del filtro se halla por medio del caudal entre la velocidad ascensorial

$$\text{Área del filtro: } a = \frac{0.025 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0091 \text{ m/s}} = 2,75 \text{ m}^2$$

Dimensión del filtro: $(1,80 \times 1,80) - 0,18 = 3,06 \text{ M}^2$

Numero de filtros: 4

Área total de Filtración = $3.06 \times 4 = 12.24 \text{ mt}^2$

Tasas de Filtración:

Tasa media de Filtración = $2.160 / 12.24 = 176.4 \text{ m}^3/\text{ M}^2/\text{ día}$

Se adoptan las siguientes tasas de filtración.

Tasa mínima = $190 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$

Tasa media = $260 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$

Tasa máxima = $300 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$

La rata de filtración será declinante variable. Los filtros trabajan por el sistema de Auto lavado.